



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

ULB

# **Kontrolle des Farb-Wasser-Gleichgewichtes in Offsetdruckmaschinen mittels Ultraschallsensoren**

Scheuter, Karl R.; Hübner, G.  
(1985)

DOI (TUpriints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00014057>

License:



CC-BY 4.0 International - Creative Commons, Attribution

Publication type: Report

Division: 16 Department of Mechanical Engineering  
16 Department of Mechanical Engineering

Original source: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/14057>

---

Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren  
der Technischen Hochschule Darmstadt

Institutsdirektor: Prof. Dipl.-Ing. Karl R. Scheuter

# Kontrolle des Farb-Wasser-Gleichgewichtes in Offsetdruckmaschinen mittels Ultraschallsensoren

G. Hübner, K. R. Scheuter

Darmstadt 1985

Institutsbericht 2/1985



Errata zu Institutsbericht II/1985

- S. III es muß heißen:  
"Entwicklung und Untersuchung von Meßverfahren für die automatische Kontrolle und Regelung der fundamentalen Spaltprozesse in Offsetdruckmaschinen"
- S. 7 leicht
- S. 8 geänderte
- S. 26 Aussbildung
- S. 32 Kurvenparameter
- S. 38  $\dot{m}_F$
- S. 46 Parameters
- S. 49 t = Trennzeit  
 $\eta$  = Viskosität
- S. 50 .... zu einer Erhöhung des Schallsignales.  
Zusätzlich verursacht eine höhere Anstellung eine Verbreiterung der Berührzone, was den Abstand zwischen Mikrophon und dem Ort der Schallentstehung am Spaltauslauf verkürzt. Dies führt zu einem weiteren Anstieg des empfangenen Signales.
- S. 58 aus = auf
- S. 69 bleibende
- S. 79 Mikrophonsignale
- S. 81 .... Ultraschallmikrophone, die in einem engen Frequenzband um 40 kHz empfangen, .....

Der vorliegende Bericht schließt das 1983 unter Leitung von Prof. Dipl.-Ing. K.R. Scheuter begonnene Forschungsvorhaben "Entwicklung und Untersuchung von Meßverfahren für die automatische Kontrolle und Regelung der fundamentalen Spaltkontrolle in Offsetdruckmaschinen" ab. Sachbearbeiter war

Dipl.-Ing. G. Hübner

Finanzieller Träger des Forschungsvorhabens war die Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V. mit Zuwendungen des Bundeswirtschaftsministeriums über die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen A.I.F.

Dank gebührt den Mitgliedsfirmen der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V. und der Firma Weitmann u. Konrad für ihre Unterstützung durch Sachspenden.

## I N H A L T

	Seite
1. Einleitung	1
2. Literatur und Stand der Technik	2
2.1 Ultraschall und Farbspaltung	2
2.2 Kontrolle und Regelung des Offsetprozesses	3
3. Frequenzanalyse des Spaltungsgeräusches	5
3.1 Methode der Frequenzanalyse	7
3.1.1 Meßmikrophone	7
3.1.2 Erzeugung von Frequenzspektren	10
3.1.3 Frequenztransformation	12
3.2 Ergebnisse und Folgerungen aus der Frequenz- analyse der Spaltungsgeräusche	16
3.3 Kristallmikrophone	21
4. Abhängigkeit der Ultraschallsignale von ver- schiedenen Einflußgrößen	25
4.1 Der Einfluß der Farbschichtdicke	28
4.2 Der Einfluß der Maschinengeschwindigkeit	32
4.3 Abhängigkeit der Schallsignale von der zugeführten Feuchtmittelmenge	34
4.4 Einfluß des Farbflusses bzw. des Flächen- deckungsgrades	46

- VI -

4.5 Einfluß der Eigenschaften der Farbe	46
4.6 Einfluß der Zustellung der Walzen	50
4.7 Einfluß des Walzenmaterials	51
4.8 Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse der Druckversuche	52
5. Zeitliches Verhalten der Mikrophonesignale	57
5.1 Erster, erklärender Versuch	59
5.2 Druckversuche unter Variation des Farbflusses und der Druckgeschwindigkeit	65
5.3 Auswerteschaltung	71
5.4 Druckversuche zur Erprobung der Auswerte- schaltung	74
5.5 Ausblick und Überlegungen zur Kontrolle und Regelung des Offsetprozesses mit Hilfe von Sonarsignalen	78
6. Zusammenfassung	80
7. Literaturverzeichnis	82

## 1. Einleitung

Das Offsetdruckverfahren wird durch das Zusammenspiel der beiden stofflichen Komponenten Druckfarbe und Feuchtmittel geprägt. Zum Gelingen des Druckprozesses müssen beide Komponenten in den richtigen Mengen vorhanden sein. Das Mengenverhältnis darf nur in relativ engen Grenzen variieren, da sonst Störungen auf dem Druckprodukt auftreten, nämlich "Tonen" oder "Wassermarken". Dabei versteht man unter "Tonen" die unerwünschte Farbübertragung durch die für die Feuchtmittelannahme präparierten, also nichtdruckenden Flächenelemente bei einer zu geringen Menge an Feuchtmittel. "Wassermarken" treten auf, wenn durch eine zu große Menge an Feuchtmittel die Farbübertragung behindert wird.

Bei der Analyse des Offsetdruckverfahrens stellt man ferner fest, daß die im Farbwerk auftretenden Spaltprozesse für die Verteilung und somit Dosierung der Druckfarben- und Feuchtmittelmengen verantwortlich sind. Im Rahmen des Forschungsvorhabens "Farbspaltungsfaktoren", AIF-Nr. 4469 /1/, wurde der beim Spaltprozeß abgestrahlte Schall als eine den Spaltprozeß charakterisierende Größe vorgestellt. Die Ergebnisse der dort bezüglich des Farbspaltungsgeräusches durchgeführten Untersuchungen können in drei Punkten zusammengefaßt werden:

- a) Der Ultraschallpegel, d.h. die Spannungsanzeige nimmt ab, wenn die Farbschichtdicke im Walzenspalt abnimmt und/oder wenn die Feuchtmittelmenge im Walzenspalt zunimmt; d.h. wenn das Verhältnis  $\frac{\text{flächenbezogene Farbmenge}}{\text{flächenbezogene Feuchtmittelmenge}}$  abnimmt.

Eine starke Abnahme dieses Verhältnisses führt zum Auftreten von Wassermarken im Druckbild.

- b) Der Ultraschallpegel, d.h. die Spannungsanzeige nimmt zu, wenn die Farbschichtdicke im Walzenspalt zunimmt und/oder wenn die Feuchtmittelmenge im Walzenspalt abnimmt; d.h. wenn das Verhältnis  $\frac{\text{flächenbezogene Farbmenge}}{\text{flächenbezogene Feuchtmittelmenge}}$  zunimmt.

Bei starker Zunahme dieses Verhältnisses, insbesondere durch Abnahme der Feuchtmittelmenge, wird Tönen auftreten.



- c) Der Ultraschallpegel nimmt zu, wenn die Umfangsgeschwindigkeit der Walzen zunimmt.

Diese ersten Ergebnisse konnten im Laufe der weiteren Untersuchungen nur bestätigt werden und lassen darauf schließen, daß mit der Messung der Spaltprozeßsonarsignale eine gute und vor allem preiswerte Möglichkeit zur Echtzeitkontrolle des Farbe- und Feuchtmittelverhältnisses gefunden wurde.

## 2. Literatur und Stand der Technik

### 2.1 Ultraschall und Farbspaltung

Über die Entstehung von (Ultra-) Schallemissionen bei der Trennung von Flüssigkeiten konnte bei einer Literaturrecherche keine außer den institutseigenen Veröffentlichungen /1/, /2/, /3/ gefunden werden.

Zum Problem der Spaltung von Flüssigkeitsfilmen auf abrollenden Walzen gibt es eine Reihe von Veröffentlichungen im Bereich der drucktechnischen Grundlagenforschung. Dabei beschäftigen sich /4/, /5/, /6/ und /7/ mit der Berechnung der Strömungsvorgänge in einem Walzenspalt, während bei /8/, /9/, /10/, /11/ fotografische Untersuchungen der Farbspaltung durchgeführt wurden. Die Frage nach der Farbverteilung beim Spaltprozeß steht bei /12/, /13/ und /14/ im Vordergrund. Gedanken über den Einfluß des Feuchtmittels bei der Farbspaltung werden bei /15/, /16/ und /17/ vorgestellt. Das bei der Farbspaltung bedeutsame frequenzabhängige viskoelastische Materialverhalten von Druckfarben wird von /18/, /19/ und /20/ eingehend untersucht. Letztlich weisen fast alle Autoren auf bei der Farbspaltung auftretende Kavitationserscheinungen hin und Myers, Miller und Zettlemoyer /21/ beweisen diese Kavitationserscheinungen fotografisch mit Hilfe einer Testapparatur. Es ist anzunehmen, daß Kavitationserscheinungen bei der Entstehung des Farbspaltungsgeräusches eine Rolle spielen. Die Einwirkung von Ultraschall in Flüssigkeiten wird in anderen Gebieten der Technik in vielfältiger Art genutzt. Im Zusammenhang

zum Auftrennen des Flüssigkeitsgefüges mit Hilfe von Ultraschall sind Desintegratoren /22/ zu nennen. Sie nutzen die akustische Kavitation aus. Weiterhin werden bei Ultraschallzerstäubern in Flüssigkeiten Kapillarwellen erzeugt, die im Zusammenspiel mit der Oberflächenspannung ein Auftrennen des inneren Zusammenhalts der Flüssigkeiten bewirken, wobei sehr kleine, nebelartige Tröpfchen entstehen können /23/. Eine Anwendung des Ultraschallzerstäubens im Bereich der Drucktechnik, nämlich für neuartige Feuchtwerke, befindet sich momentan in der Erprobungsphase /24/, /25/.

## 2.2 Kontrolle und Regelung des Offsetdruckprozesses

Während des Laufs einer Offsetdruckmaschine lassen sich im wesentlichen drei Stellgrößen verändern:

1. Druckgeschwindigkeit
2. Farbführung (entweder einheitlich über die gesamte Druckbreite mit Hilfe der Farbduktorstreifenbreite oder zonenweise über die jeweiligen Farbzonenschrauben)
3. Feuchtmittelführung

Die Konstanzhaltung einer vom Drucker vorgewählten Maschinengeschwindigkeit bereitet hinsichtlich der Regelung des Antriebsmotors keine Schwierigkeit. Die Farb- und Feuchtmittelzuführeinrichtungen moderner Druckmaschinen sind weitgehend geschwindigkeitskompensiert.

Viel schwieriger für eine stabile Produktqualität ist die Beherrschung der Punkte 2, 3. Die Notwendigkeit von Kontroll-, Steuerungs- und Regeleinrichtungen für die Punkte 2 und 3 wird in sehr vielen Artikeln der Fachpresse, insbesondere in den letzten Jahren, stark betont. Die Voraussetzung für solche Einrichtungen ist die Messung einer physikalischen Größe, die in eindeutigen Zusammenhang mit der zu regelnden Größe steht.

Für Punkt 2, die Farbführung, wird derzeit die optische Dichte eines oder mehrerer zur Kontrolle mitgedruckter Volltonfelder als relevante Meßgröße angesehen, obwohl dadurch noch nicht gewähr-

leistet ist, daß sämtliche Farbtöne des gerasterten Exemplars mit der Vorlage übereinstimmen (z.B. Probleme des Punktzuwachses).

Bei den meisten Verfahren findet mit Hilfe eines Mehrkanaldensitometers, mit dem man auf einem gezogenen Exemplar mißt, im "off-line"-Betrieb ein Soll-Ist-Wert-Vergleich statt, nach dessen Ergebnis die Farbzonenschrauben automatisch nachgeführt werden /26/, /27/, /28/, /29/, /30/, /31/, /32/, /33/. Eine logische Folge der Entwicklung ferngesteuerter Farbzonenschrauben ist die automatische Voreinstellung des Farbzonensprofils mittels Plattenscannern, die den zonenspezifischen Farbverbrauch ermitteln sollen /30/, /31/, /32/, /33/. Mit Hilfe dieser Geräte läßt sich der Makulaturanfall beim Einrichten und Anfahren einer Druckmaschine stark reduzieren. Einige Arbeiten berichten von "on-line"-Messungen der Farbschichtdicke oder optischen Dichte der Farbe direkt im Farbwerk, wobei der Stand dieser Technik außer evtl. bei /34/ mehr als versuchs- oder labormäßig bezeichnet werden muß /1/, /31/, /32/, /35/, /36/. Nach /31/ sollen aber bald geschlossene "on-line"-Regelkreise, aufbauend auf sog. Maschinendensitometern, zum Einsatz kommen.

Aus arbeitsmedizinischen Gründen nur im Labor einsetzbar sind Schichtdickenmeßmethoden mit Hilfe von radioaktiver Markierung der zu untersuchenden Medien. Solche Messungen sind sowohl für die Farbschichten /37/ als auch für das Feuchtmittel /38/, /39/ bekannt.

Beim Punkt 3, nämlich Kontrolle und Regelung der Feuchtmittelführung, gestaltet sich die Frage nach einer geeigneten Meßgröße als weitaus schwieriger. Die Forderung nach solchen Einrichtungen unter der Voraussetzung zu schaffender geeigneter Meßmethoden wird jedoch sehr oft erhoben z.B. in /25/, /26/, /40/ und /41/.

Die Bestimmung der Feuchtmittelschichtdicke auf bestimmten Teilen nichtdruckender Flächen der Druckplatte scheint zwar die Meßmethode mit der höchsten drucktechnischen Aussagekraft zu sein, ist aber bisher nur mit sehr hohem technischen Aufwand realisiert worden. Zur Messung der Feuchtmittelschicht wird dazu ein in /42/,



/43/, /44/, /45/, /46/, /47/ und /48/ beschriebenes Verfahren benutzt, das auf der Absorption elektromagnetischer Strahlung im nahen Infrarotbereich durch die Wassermoleküle beruht. Es wird jeweils ein Referenzstrahl benötigt.

Neben einer gewissen Unsicherheit des Verfahrens (/44/ und /49/ beschreiben nachteilige Einflüsse der Veränderung der Druckplattenoberfläche während des Auflagedruckes) sind die Hauptnachteile in den sehr hohen Kosten und der Voluminosität der Meßapparatur zu sehen /26/.

Eine Weiterentwicklung /50/ des IR-Sensors wird in Verbindung mit der Einrichtung eines geschlossenen Regelkreises in /46/, /51/, /52/ vorgestellt. Erfahrungen mit diesem System sind noch nicht bekannt.

Als weitere, eher indirekte physikalische Meßgröße für die Feuchtmittelmenge wurde der durch den Wasserfilm auf der Druckplatte entstehende Glanz benutzt /36/, /53/. Zu dieser Meßmethode konnten keine Berichte zu Meßergebnissen oder Erfahrungen gefunden werden.

Die in dem hier vorliegenden Bericht untersuchte Sonarmethode zur Bestimmung des Farbe- Feuchtmittelgleichgewichtes ist auch eine indirekte Methode. Sie zeichnet sich aber durch verblüffende Einfachheit, niedrige Kosten und vergleichsweise minimale Sensorabmessungen aus.

### 3. Frequenzanalyse des Spaltungsgeräusches

Zu Beginn des Forschungsvorhabens wußte man, daß die Ausgangsspannung eines Kristallmikrophons, welches sehr schmalbandig bei 35-40 kHz (Ultra-) Schall am Ausgang eines Walzenspaltes empfängt, vom Verhältnis der Farb- zur Feuchtmittelmenge abhängt. Auch ein Meßmikrophon in Verbindung mit einem bis 20 kHz auflösenden Analoganalysator zeigte die gleiche Abhängigkeit auf. Das Signal war bei 20 kHz am größten. Dies läßt vermuten, daß der Frequenzgang des Spaltungsgeräusches hauptsächlich im Ultraschallgebiet liegt.

Es stellt sich somit die Frage, wie die spektrale Verteilung des Farbspaltungsgeräusches überhaupt aussieht.

Mit der Annahme, daß die Wellenlänge  $\lambda$  des abgestrahlten Schalls ungefähr in der gleichen Größenordnung wie die Abmessungen der mechanisch schwingenden Teilchen liegen muß, können die zu erwartenden Frequenzen abgeschätzt werden. Zur Ursache der Schallabstrahlung ist anzunehmen, daß die bei der Farbspaltung schnell entstehenden und zerfallenden bzw. zerreißen Farblamellen und Farbfäden (die Spaltungszeiten liegen  $< 1$  ms) kleine Hohlräume bilden, deren Volumina sich rasch verändern und lokale Druckschwankungen, also Schall, verursachen. Für die Bildung der Farbfäden und -lamellen sind Inhomogenitäten in der Druckverteilung im Walzenspalt verantwortlich, die durch die im Vergleich zur Farbschicht verhältnismäßig großen Oberflächenrauigkeit mindestens einer der beteiligten Walzen hervorgerufen werden.

Eine weitere Ursache für die Schallentstehung sind die bei der Spaltung wahrscheinlich auftretenden Kavitationserscheinungen (s. z.B. /21/), da beim Öffnen der Kavitationsblasen am Spaltausgang Druckausgleichsvorgänge auftreten müssen. Die somit für die Schallentstehung verantwortlichen, aufreißen Farbfäden, Hohlräume und Kavitationsblasen haben Längen bzw. Durchmesser im Bereich von einigen Mikro- bis zu wenigen Millimetern. Der Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Frequenz des Schalls wird durch die Wellengleichung beschrieben:

$$c = \lambda \cdot \nu \quad (3.1)$$

Dabei ist  $\nu$  die Frequenz und  $c$  die Schallgeschwindigkeit. Sie beträgt in Luft ca.  $340 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ . Somit ist für das Farbspaltungsgeräusch ein Spektrum von Frequenzen ab dem Hörbereich ( ~~$\lambda = 2$  mm ergibt  $\nu = 17$  kHz~~) bis sehr weit in den Ultraschallbereich zu erwarten (~~bei  $\lambda = 2$   $\mu\text{m}$  ist  $\nu = 170$  MHz~~).

Die Anregung der schwingenden Teilchen erfolgt durch die spontanen Vorgänge bei der Trennung des Farbfilms nicht kontinuierlich. Es handelt sich um eine Vielzahl solcher schallerzeugenden Vorgänge,

die sowohl in ihrer zeitlichen Abfolge, als auch örtlich über die axiale Erstreckung der Farbwerkswalzen, zufällig statistisch verteilt sind. Das Farbspaltungsgeräusch ist somit als breitbandiges Rauschsignal zu charakterisieren.

Da das Geräusch als Maß für das Farb- Wassermengenverhältnis dienen kann, soll durch die Frequenzanalyse insbesondere geklärt werden, ob sich die Veränderung der Feuchtmittelzugabe in einem speziellen Frequenzbereich besonders stark bemerkbar macht. Kurz: Gibt es ein "optimales Frequenzband" zur Messung des Farb- Wasser- gleichgewichtes ?

### 3.1 Methode der Frequenzanalyse

#### 3.1.1. Meßmikrophone

Um eine frequenzanalytische Untersuchung des Farbspaltungsgeräusches vornehmen zu können, muß zunächst der Schall empfangen und mit Hilfe von Schallwandlern in elektrische Signale umgesetzt werden. Aufgrund weitgehender Linearität bei der Umwandlung eignen sich elektrostatische Schallwandler (Kondensatormikrophone) am besten /54/, /55/.

Da die Mikrophonkapazitäten zwischen 10 und 200 pF liegen, sind die Mikrophone sehr empfindlich gegenüber Einstrahlungen durch "Netzbrummen". Somit wird eine gute Abschirmung erforderlich, und es ist zweckmäßig die erste Verstärkerstufe direkt an das Mikrophon zu koppeln, um die Ausgangssignale auf eine ausreichend lange Kabelleitung geben zu können. Eine weitere Verstärkerstufe liefert Ausgangsspannungen bis ca. 1 V, die sich leicht aufzeichnen oder weiterverarbeiten lassen.

Da bei der Auswahl des Meßmikrophons ein Kompromiß zwischen Frequenzgang und Empfindlichkeit getroffen werden muß, kamen zwei verschiedene Mikrophontypen zur Anwendung:



Typ:	Brue1 + Kjaer 4135	Brue1 + Kjaer 4138
Membrandurchmesser	1/4 " = 6,35 mm	1/8 " = 3.175 mm
ca. Empfindlichkeit bei 1 kHz	3,8 m V/Pa	1 m V/Pa

Bei jedem Mikrophon liegt eine vom Hersteller gemessene individuelle Frequenzgangskurve bei (Abb. 3.1 und 3.2).

Bei quantitativen Schallanalysen spielt die geometrische Anordnung der Schallquelle zum Schallempfänger und die Beschaffenheit des umgebenden Raumes eine sehr wesentliche Rolle. Die Messung wird insbesondere dann durch Resonanzerscheinungen verfälscht, wenn die Wellenlängen des zu untersuchenden Schalls kleiner oder ungefähr gleich dem Membrandurchmesser der Mikrophone sind. Dies ist beim 1/8"-Typ nach Gleichung 3.1 ab  $\nu > 100$  kHz der Fall, was nach /55/ Korrekturen am Meßergebnis erforderlich machen würde.

In der speziellen Anwendung zur Messung des Farbspaltungsgeräusches interessiert zunächst aber nicht eine exakte quantitative Messung des Spektrums, sondern wichtig ist, wie sich eine geänderte Feuchtmittelmenge auf die Ausbildung des Spektrums auswirkt. Die Messungen sind also rein vergleichender Art, und es wurden deshalb keinerlei Korrekturen an den gemessenen Spektren vorgenommen.

Zur Erzeugung von Frequenzspektren aus den gemessenen elektrischen Signalen müssen einige Hilfsmittel benutzt werden, die in den folgenden Abschnitten näher beschrieben werden.

**Calibration Chart for  
Condenser Microphone  
Cartridge Type 4135**

Serial No. 1018863

Open Circuit Sensitivity at 1013 mbar, 23°C and 50% RH.

-48.6 dB re. 1 V per Pa or 3.72 mV per Pa

Open Circuit Correction Factor:

$K_0^*) = \pm 22.6$  dB

Cartridge Capacitance:

$C = 6.5$  pF

Leakage Resistance tested at 52% relative humidity >  $10^{14} \Omega$

**Frequency Response Characteristics:**  
The upper curve is the open circuit free-field characteristic, valid for the Microphone Cartridge without protecting grid. Sound waves perpendicular to diaphragm (see Fig.).  
The lower curve is the open circuit pressure response recorded with electrostatic actuator.  
The red curve is the open circuit random incidence response. Protection grid included.



\*) Subtract the gain of the preamplifier (see back of this card) from  $K_0$  to get the actual correction factor  $K$ . (See instruction manual for the use of  $K$ ).

1 Pa =  $1 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ dynes/cm}^2 = 10 \mu\text{bar}$

BC 0038



**Conditions of Tests:**

Frequency: 250 Hz

Polarization voltage: 200 V

Ambient Pressure: 99.1 mbar

Relative Humidity: 53 %

Temperature: 26 °C

Date: 7-10-82 Signature: H.R.

**Summarized Specifications:**  
Outside Diameter: 0.25 inch (6.35 mm) without protecting grid

Grid Thread (coupler mounting): 0.25 inch (6.35 mm), 60 UNS2

Resonance Frequency: approx. 100 kHz

Equivalent Air Volume: approx. 0.6 mm<sup>3</sup> at 1013 mbar and 250 Hz

Temperature Coefficient: approx. -0.01 dB/°C between -10 and +50°C at 250 Hz

Ambient Pressure Coefficient: approx. -0.0007 dB/mbar at 250 Hz

Relative Humidity: Influence less than 0.1 dB, in the absence of condensation

Limiting Sound Pressure Level: 172 dB (10% distortion)

**Calibration Chart for  
Condenser Microphone  
Cartridge Type 4138**

Serial No. 1000217

Open Circuit Sensitivity at 1013 mbar, 23°C and 50% RH.

-59.7 dB re. 1 V per Pa or 1.04 mV per Pa

Open Circuit Correction Factor:

$K_0^*) = \pm 33.7$  dB

Cartridge Capacitance:

$C = 3.35$  pF

Leakage Resistance tested at 52% relative humidity >  $10^{14} \Omega$

**Frequency Response Characteristic:**  
The curve is the open circuit pressure response recorded with electrostatic actuator

\*) Subtract the gain of the preamplifier (see back of this card) from  $K_0$  to get the actual correction factor  $K$ . (See instruction manual for use of  $K$ ).

1 Pa =  $1 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ dynes/cm}^2 = 10 \mu\text{bar}$

BC 0038



**Conditions of Tests:**

Frequency: 250 Hz

Polarization voltage: 200 V

Ambient Pressure: 1002 mbar

Relative Humidity: 52 %

Temperature: 23 °C

Date: 5-1-83 Signature: H.R.

**Summarized Specifications:**  
Outside Diameter: 0.125 inch (3.175 mm) without protecting grid

Grid Thread (coupler mounting): 0.12 inch (M 3.175 x 0.2)

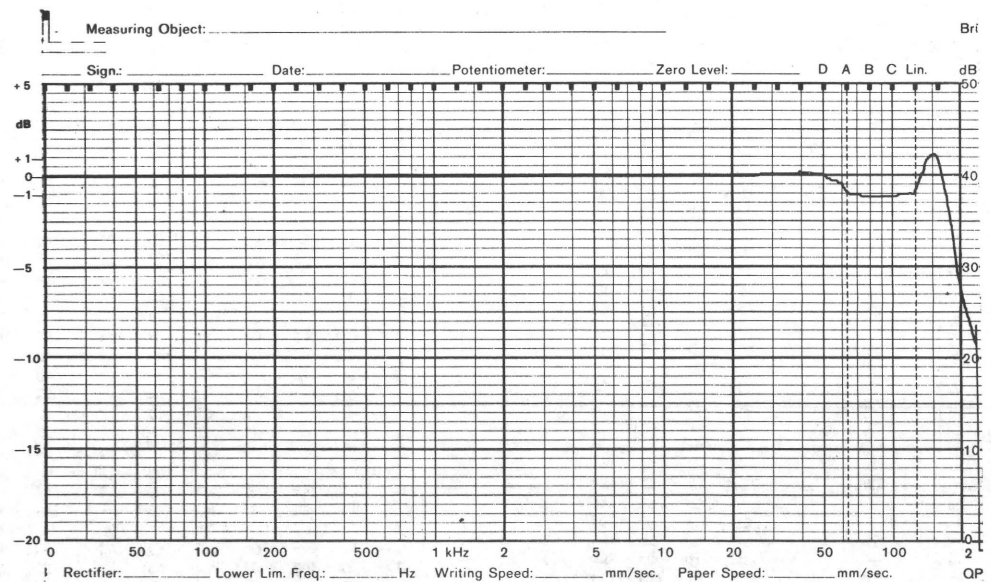
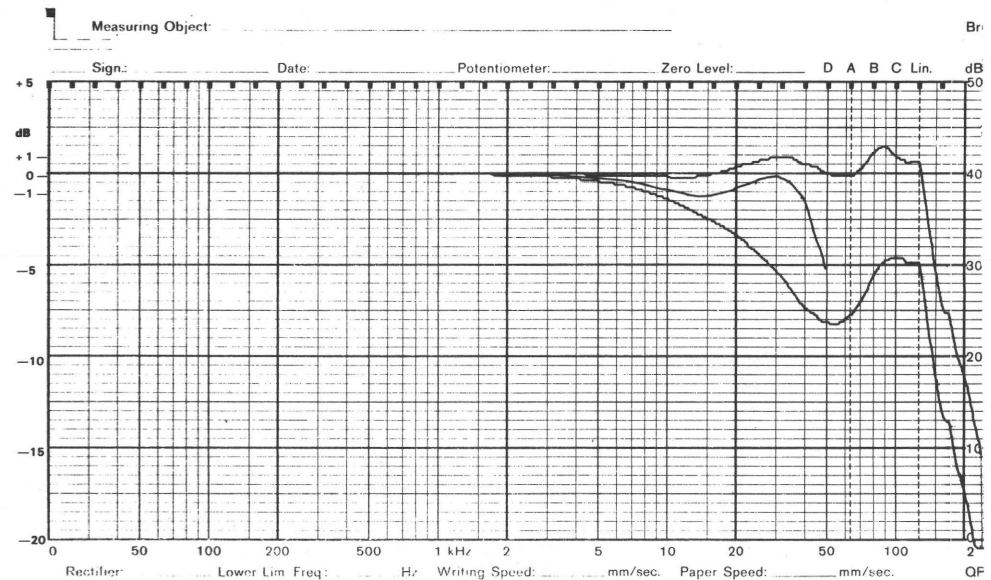
Equivalent Air Volume: approx. 0.1 mm<sup>3</sup> at 1013 mbar and 250 Hz

Temperature coefficient: approx. -0.01 dB/°C between -10 and +50°C at 250 Hz

Ambient Pressure Coefficient: less than -0.001 dB/mbar at 250 Hz

Relative Humidity: Influence less than 0.1 dB in the absence of condensation

Limiting Sound Pressure Level: 178 dB (10% distortion)





### 3.1.2 Erzeugung von Frequenzspektren

Die Ausgangssignale der Meßmikrophone

$$U = f(t) \quad (3.2)$$

nach der Verstärkerkette sind Spannungs-Zeit-Funktionen, deren Bandbreite durch den Frequenzgang der Mikrophone bestimmt wird. Der Energieinhalt von Schwingungen wird im allgemeinen durch den Effektivwert (engl. RMS-Value = Root Mean Square Value) beschrieben:

$$U_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [U(t)]^2 \cdot dt} \quad (3.3)$$

Der Effektivwert sagt aber nichts über die spektrale Verteilung der Schwingungsenergie aus. Ohne Veränderung der Spaltungsverhältnisse in der Druckmaschine bleibt der mittlere Energieinhalt des empfangenen Schallsignales konstant. Die überlagerten Signalschwankungen sind jedoch regelloser, höherfrequenter Natur, so daß das vorliegende Zeitsignal als stationäre stochastische Schwingung bezeichnet werden kann.

Zur frequenzanalytischen Beschreibung solcher aperiodischer, stochastischer Signale benutzt man im allgemeinen die Darstellung in Form der spektralen Leistungsdichte  $S(\nu)$  /56/, /57/, /58/, die sich schreiben läßt:

$$S(\nu) = \lim_{\Delta\nu \rightarrow 0} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta\nu \cdot T} \int_0^T [f_{\Delta\nu}(t)]^2 \cdot dt \quad (3.4)$$

mit  $T$  = Beobachtungsdauer

$\Delta\nu$  = Frequenzteilung, innerhalb derer die Leistung des Signals als konstant angesehen werden kann.

Vergleicht man Gleichung (3.3) mit (3.4), dann wird der Zusammenhang zwischen der Leistungsdichte und dem Effektivwert, der ja die mittlere Leistung des Signals repräsentiert, deutlich. Es ist nämlich:

$$\int_{\nu} S(\nu) \sim [U_{\text{RMS}}]^2 \quad (3.5)$$

Die spektrale Analyse kann nun grundsätzlich in zwei Arten erfolgen: Ein analoger Analysator erzeugt mit einer Vielzahl parallel geschalteter extrem steilflankiger Frequenzfilter ein Spektrum. Dies ist in Echtzeit möglich, jedoch für die hier auftretenden hohen Frequenzen sehr aufwendig und daher teuer.

Die zweite, hier benutzte Möglichkeit ist durch digitale Analysensysteme gegeben, die mit der sog. Fast-Fourier-Transformation (FFT) arbeiten.

Bei digitalen Systemen, die das Zeitsignal in regelmäßigen Abständen abtasten, muß das Shannontheorem erfüllt sein. Es besagt, daß die Abtastfrequenz (Digitalisierfrequenz) mindestens doppelt so groß sein muß wie die im Zeitsignal maximal vorkommende Frequenz. Gegebenenfalls muß man also Tiefpaßfilter vorschalten, da sonst sog. Aliasing-Effekte auftreten. Beim Aliasing werden durch Schwebungen zwischen Signal- und Abtastfrequenz falsche spektrale Anteile berechnet und angezeigt. Aus Sicherheitsgründen ist daher in der Praxis ein höheres Verhältnis zwischen maximaler Signalfrequenz und Abtastfrequenz üblich ( $> 0,2$ ).

Während der Abtastung werden die digitalisierten Zeitsignalwerte in Vektoren zusammengefaßt, deren Größe in der Regel einer Zweierpotenz (256, 512, 1024 ...) entspricht.

Der Algorithmus der FFT lautet für  $N$  diskrete Werte:

$$F(n \cdot \nu_0) = \Delta t \cdot \sum_{k=0}^{N-1} f(k \cdot \Delta t) \left[ \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot n}{N} - j \sin \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot n}{N} \right] \quad (3.6)$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} \quad ; \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

dabei ist  $\Delta t$  = die Abtastrate beim Digitalisieren

$N$  = Anzahl der Werte im Wertevektor

$j = \sqrt{-1}$  die imaginäre Konstante

$\nu_0 = \frac{1}{N \cdot \Delta t}$  = Frequenz, mit der die Wertevektoren vollgeschrieben werden bzw. Abstand der Spektrallinien im Spektrum

Man erhält somit  $N/2$  reelle und  $N/2$  imaginäre Fourierkoeffizienten. In diesen Koeffizienten sind noch für aperiodische Vorgänge irrele-

vante Phaseninformationen enthalten. Werden die berechneten Fourierkoeffizienten anschließend mit ihren konjugiert komplexen Werten multipliziert, erhält man eine Funktion ohne Phaseninformation, nämlich die spektrale Leistungsdichteverteilung (z.B./59/). Bei  $N/2$  Koeffizienten ist dabei die höchste angezeigte Frequenz  $N/2 \cdot v_0$ .

Mit dem Signalanalysesystem des IDD kann mit einer maximalen Abtastfrequenz von 100 kHz (= 10  $\mu$ sec von Datenpunkt zu Datenpunkt) digitalisiert werden. Die Frequenzanteile des Zeitsignals sollten daher 20 kHz nicht überschreiten. Sie erreichen aber bei den Ausgangssignalen der Meßmikrophone 150-200 kHz (s. Abb. 3.1 und 3.2). Dadurch war eine Frequenztransformation der Mikrophonsignale notwendig.

### 3.1.3 Frequenztransformation

Die Frequenztransformation wird durch eine Dehnung der Zeitachse möglich, wie es der Fall ist, wenn man die Signale, die auf ein Analogmagnetband aufgezeichnet sind, mit verlangsamer Bandgeschwindigkeit wieder abspielt.

Das am IDD vorhandene Analogmagnetbandgerät kann bei einer Aufnahmegeschwindigkeit von 60 inch/sec Frequenzen bis 300 kHz aufzeichnen. Die Abspielgeschwindigkeit läßt sich in Zweierstufen erniedrigen, so daß z.B. bei 1 7/8 inch/sec eine Frequenztransformation um den Faktor  $q = 32$  möglich ist. Damit ist das Analysesystem in der Lage, unter Berücksichtigung seiner Verarbeitungsgeschwindigkeit einen ca. 80 ms langen Signalausschnitt in 1024 Schritten abzutasten und daraus ein momentanes Leistungsdichtespektrum zu berechnen. Somit werden die Parameter der Gleichung (3.6)

$$N = 1024$$

$$\Delta t = 75 \mu s$$

$$v_0 = \frac{1}{N \cdot \Delta t} = 13 \text{ Hz}$$

Die transformierte Frequenzachse läßt sich danach wieder mit einem multiplikativen Faktor so kalibrieren, daß sie der wahren



Frequenzachse entspricht. Also wird nach der Umkalibrierung:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{q} = 2,3 \mu s$$

$$\nu_0' = \frac{1}{N \cdot \Delta t'} = 420 \text{ Hz}$$

Die Berechnung dauert ca. 180 ms, danach kann der nächste Signalabschnitt erfaßt werden, usw. Ein solches momentanes Leistungsdichtespektrum heißt nach /57/ Periodogramm. Abb. 3.3 zeigt ein Periodogramm, welches mit dem 1/8"-Mikrofon aufgenommen wurde.

Rein theoretisch ist nach Gleichung (3.4) eine unendlich lange Registrierung zur Beschreibung der Schwingungen notwendig. Da dies technisch nicht möglich ist, rechnet der FFT-Algorithmus nun aber so, wie wenn sich der zugrunde liegende Zeitsignalabschnitt von  $-\infty$  bis  $+\infty$  periodisch fortsetzen würde. Deshalb treten dort einzelne Frequenzen zu stark hervor. Wegen der statistischen Natur des Zeitsignals kann das nächste Periodogramm stark vom ersten differieren. Nur eine Mittelwertbildung über mehrere Periodogramme kann somit eine statistisch ausreichend sichere Aussage über die spektrale Verteilung der Leistung des Prozesses ergeben. So wurden pro Aufnahme die Versuchsbedingungen mindestens 15 sec konstant gehalten. In dieser Zeit wurden 200 Signalabschnitte untersucht und deren Periodogramme gemittelt.

Abb. 3.4 zeigt den Vergleich eines einzelnen Periodogramms mit der über 200 Periodogramme gemittelten Kurve. Man sieht, daß im einzelnen Periodogramm einige Frequenzanteile deutlich zu hoch bzw. zu niedrig auftreten.

Abb. 3.5 stellt die gemittelte Kurve nochmals in der Vergrößerung dar. Alle im folgenden gezeigten Leistungsdichtespektren wurden, wenn nicht anders vermerkt, aus 200 gemittelten Periodogrammen erzeugt.

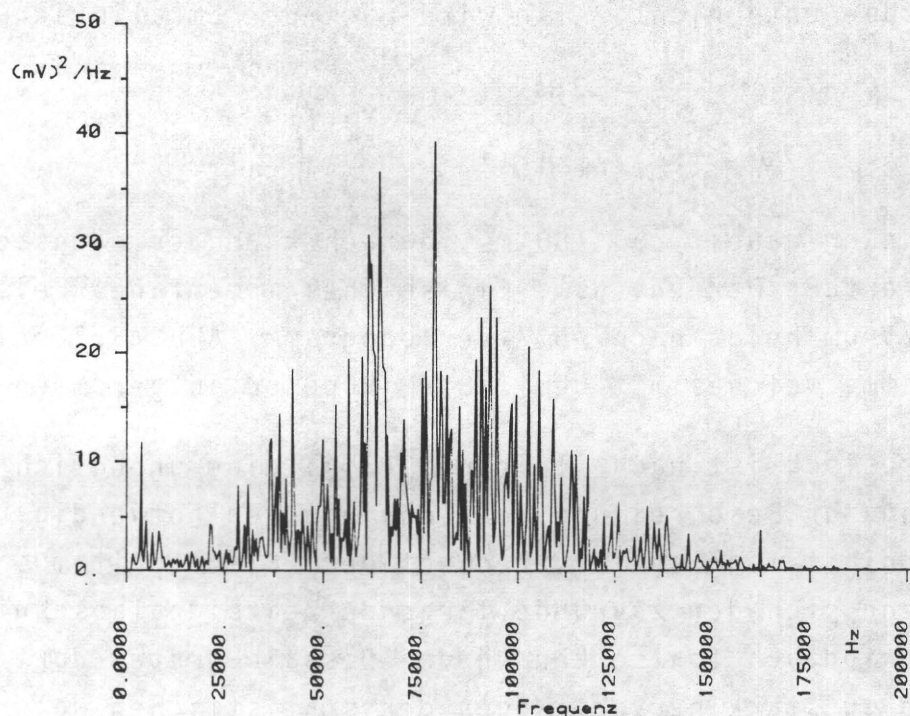


Abb. 3.3 Leistungsdichtespektrum des Farbspaltungsgeräusches. Periodogramm, gemessen mit 1/8-Zoll-Meßmikrophon

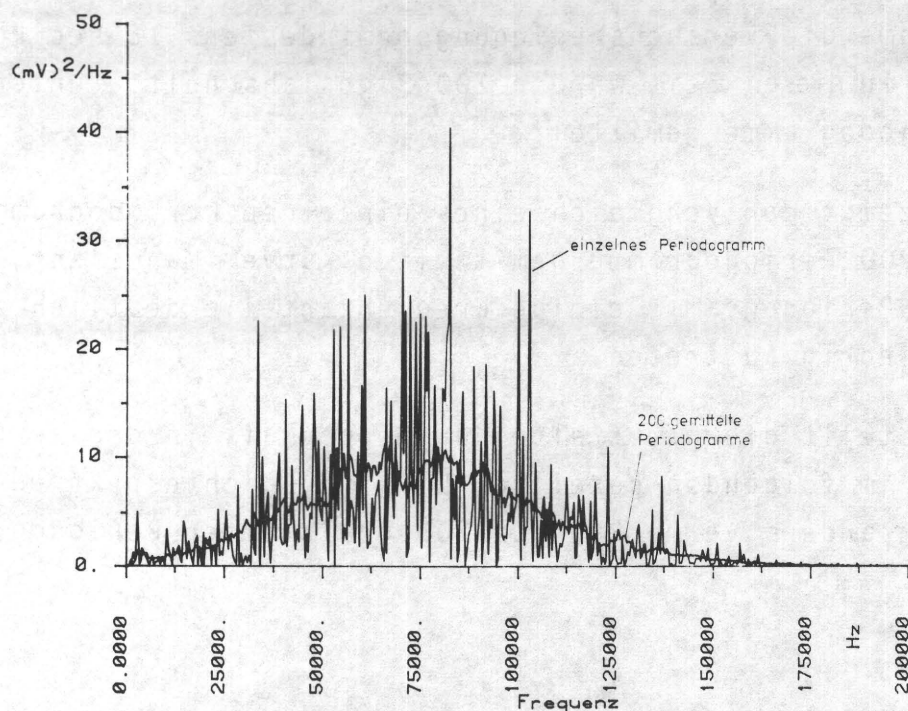


Abb. 3.4 Vergleich: Einzelnes Periodogramm mit dem Mittelwert über 200 Periodogramme.

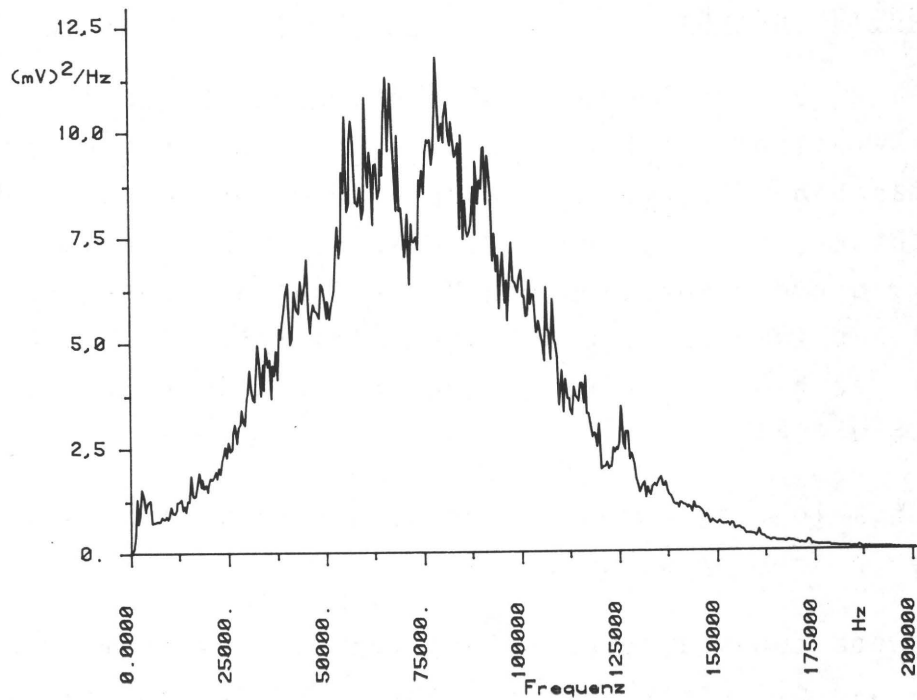


Abb. 3.5 Gemitteltetes Leistungsdichtespektrum des Farbspaltungsgeräusches, gemessen mit 1/8-Zoll-Mikrophon

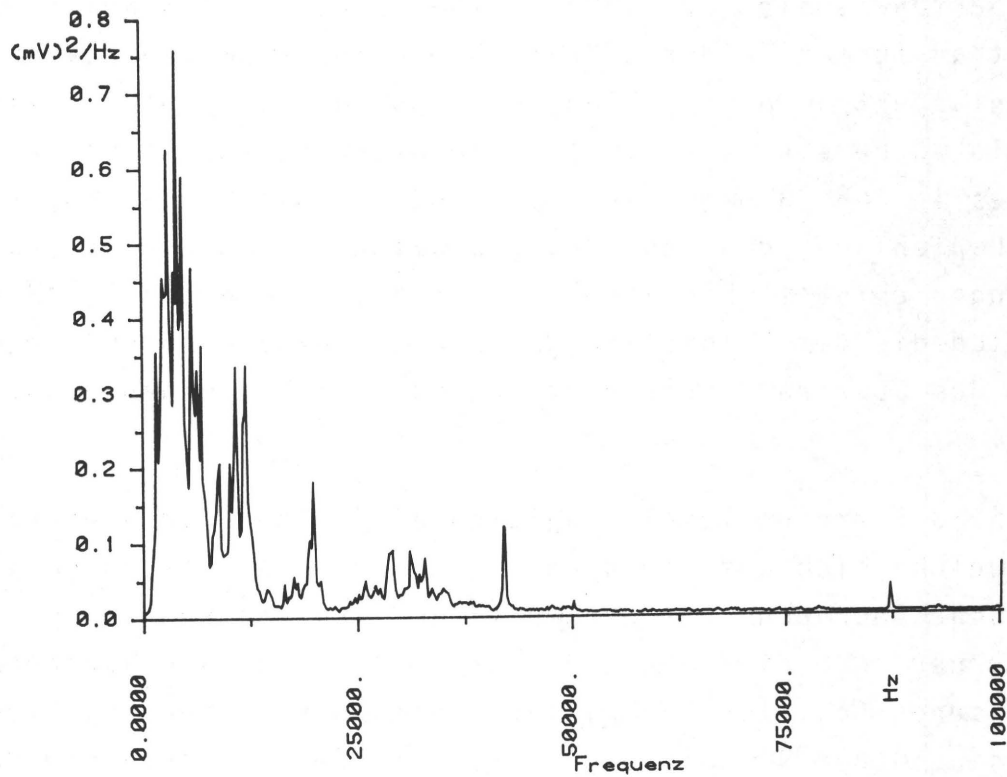


Abb. 3.6 Leistungsdichtespektrum der Maschinengeräusche, 1/8-Zoll-Mikrophon



### 3.2 Ergebnisse und Folgerungen aus der Frequenzanalyse der Spaltungsgeräusche

---

Die Grundlage für die folgende Diskussion der Ergebnisse der Frequenzanalyse bilden nun Druckversuche, die an einer Einfarbenbogenoffsetmaschine durchgeführt wurden. Die Meßmikrophone wurden in Querrichtung der Maschine mittig an die Position im Farbwerk angebracht, die der Position von  $M_W$  in Abb. 4.1 (Ausgangsspalt zwischen 1. Auftragswalze und Reiberwalze) entspricht. An dieser Stelle ist die größte Beeinflussung des Signals durch das Feuchtmittel zu erwarten.

Die Leistungsdichtespektren wurden nach der im vorherigen Kapitel beschriebenen Art und Weise erstellt.

Da das Farbspaltungsgeräusch naturgemäß nie aufgenommen werden kann, ohne daß die Druckmaschine läuft, werden die Maschinengeräusche zwangsläufig miterfaßt. Ebenfalls können Störanteile durch die Meßkette anfallen. Das oft unvermeidliche Netzbrummen (50 Hz mit Obertonanteilen bei 100 Hz, 150 Hz usw.) wird bei einer Frequenztransformation durch Zeitachsendehnung um den Faktor 32 im Ergebnisspektrum bei ca. 1600 Hz, 4800 Hz usw. Anteile liefern. Deshalb wurde ein Spektrum ohne Anwesenheit von Farbe gemessen, welches in Abb. 3.6 gezeigt wird und nur die Maschinengeräusche (bei Papierlauf, d.h. auch eingeschaltete Kompressoren) und sonstige Störungen enthält. Ein Vergleich der Abbildungen 3.5 und 3.6 zeigt, daß sich die dem Farbspaltungsgeräusch zuzuordnenden Frequenzanteile des Spektrums sehr deutlich von den Maschinengeräuschen abheben.

In Abb. 3.5 treten lokale Ungleichmäßigkeiten der Spektralwerte auf, welche sich auf die Resonanzbedingungen, die durch die geometrische Anordnung vorgegeben sind, zurückführen lassen. Erkennbar ist ferner, daß die Amplituden erst weit über der Hörgrenze eines Erwachsenen (ca. 16-18 kHz) ihr Maximum erreichen. Es liegt ca. zwischen 50 und 90 kHz. Danach fallen die Spektralwerte rasch ab. Um eine Erklärung für diesen Abfall zu finden, wurden die gemessenen

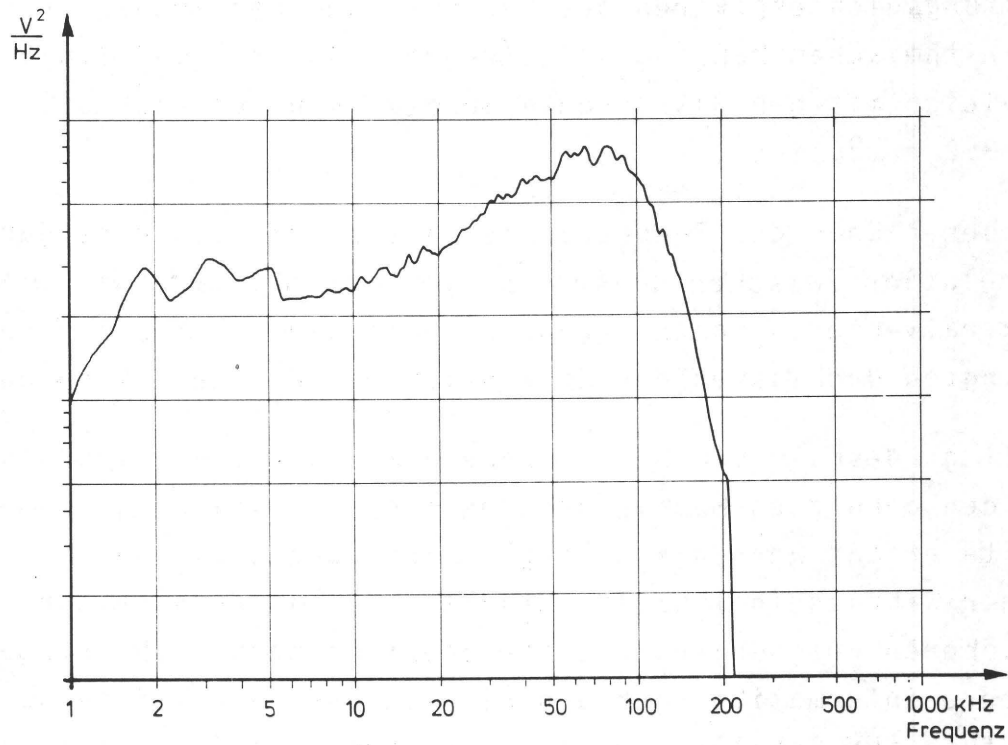


Abb. 3.7 Leistungsdichtespektrum des Farbspaltungsgeräusches, gemessen mit 1/8-Zoll-Meßmikrofon (doppeltlogarithmisch).

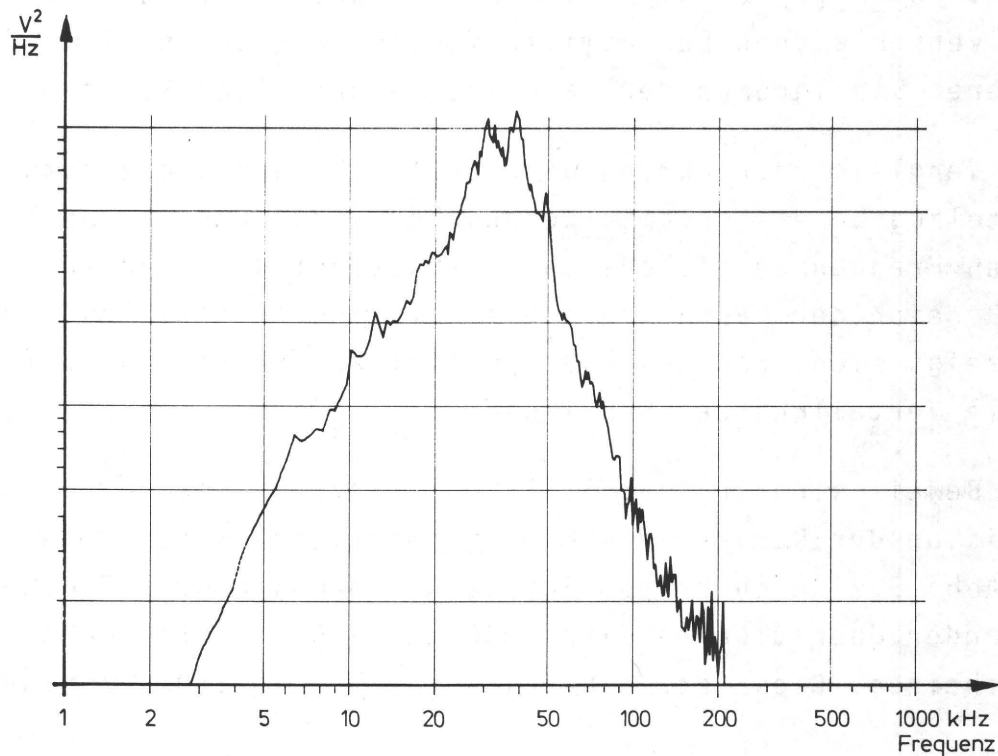


Abb. 3.8 Leistungsdichtespektrum des Farbspaltungsgeräusches, gemessen mit 1/4-Zoll-Meßmikrofon (doppeltlogarithmisch).

Leistungsdichtespektren des Farbspaltungsgeräusches in doppelt-logarithmischem Maßstab aufgetragen (Abb. 3.7 und 3.8), was einen Vergleich mit den Mikrofonkalibrationskurven nach Abb. 3.1 und 3.2 ermöglicht.

Am oberen Ende des Frequenzbereiches zeigt sich eine deutliche Korrelation zwischen diesen Kurven. Das Absinken der erfaßten Spektralwerte zu hohen Frequenzen hin beruht also auf dem bauartbedingten Nachlassen der Empfindlichkeit der Meßmikrophone.

Es liegt deshalb der Schluß nahe, daß das Farbspaltungsgeräusch mit den benutzten Meßmikrophonen nicht in seiner ganzen Bandbreite erfaßt werden kann (vgl. Gleichung 3.1). Nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit enthält aber das Farbspaltungsgeräusch in höheren Frequenzen, als sie jetzt meßtechnisch erfaßbar waren, weitere Information über den Einfluß des Feuchtmittels. Die Dämpfung für Schallwellen in Luft nimmt ebenfalls mit wachsender Frequenz zu /54/, was solche Messungen sowieso kritisch werden läßt.

In den Abb. 3.9 und 3.10 sind verschiedene Spaltungsgeräuschspektren dargestellt, die im Fortdruckzustand bei Anwesenheit von verschiedenen Feuchtmittelmengen aufgezeichnet wurden. Die anderen Stellgrößen der Maschine wurden dabei konstant belassen.

Bei Vergleich der Kurven wird deutlich, daß bei zunehmender Feuchtmittelzugabe das gesamte Geräuschspektrum von 15 kHz bis zu den hohen Frequenzen gleichermaßen abgesenkt wird. Unterhalb 15 kHz, im Bereich der Maschinengeräusche, findet keine Absenkung statt. Es zeigt sich, daß das Feuchtmittel keinen Einfluß auf die spektrale Verteilung des Schallsignals ausübt.

Zum Beweis sind in Abb. 3.11 zwei Kurven aufgetragen, die durch Division der Kurven in Abb. 3.9 entstanden sind. Wenn die Kurven in Abb. 3.9 durch proportionale Absenkungen bzw. Erhöhungen in einander überzuführen sind, müßten in Abb. 3.11 konstante Linien erscheinen. Dies ist im Bereich von 50 bis 150 kHz nahezu der Fall.



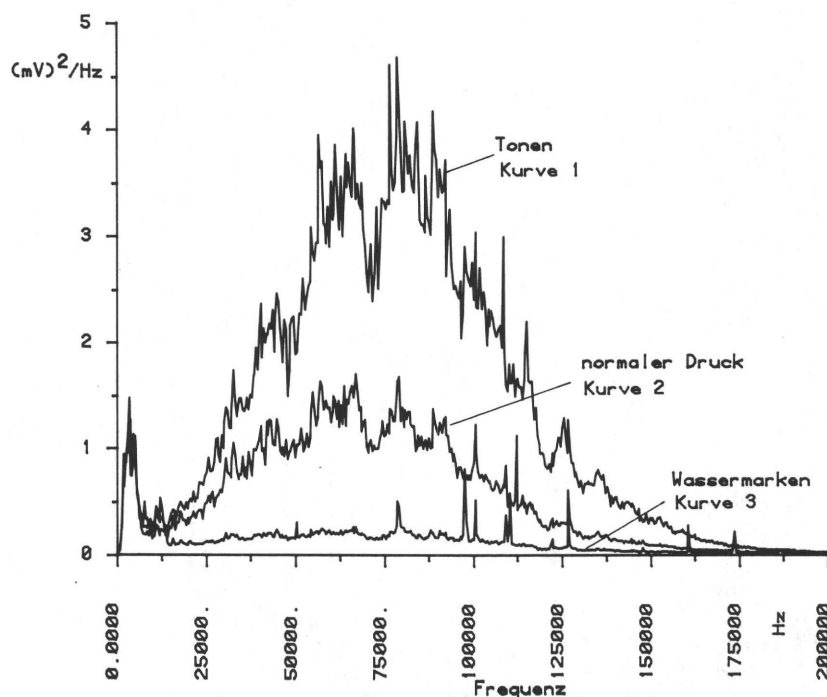


Abb. 3.9 Leistungsspektrum des Farbspaltungsgeräusches bei unterschiedlicher Feuchtmittelzugabe, gemessen mit 1/8-Zoll-Meßmikrophon

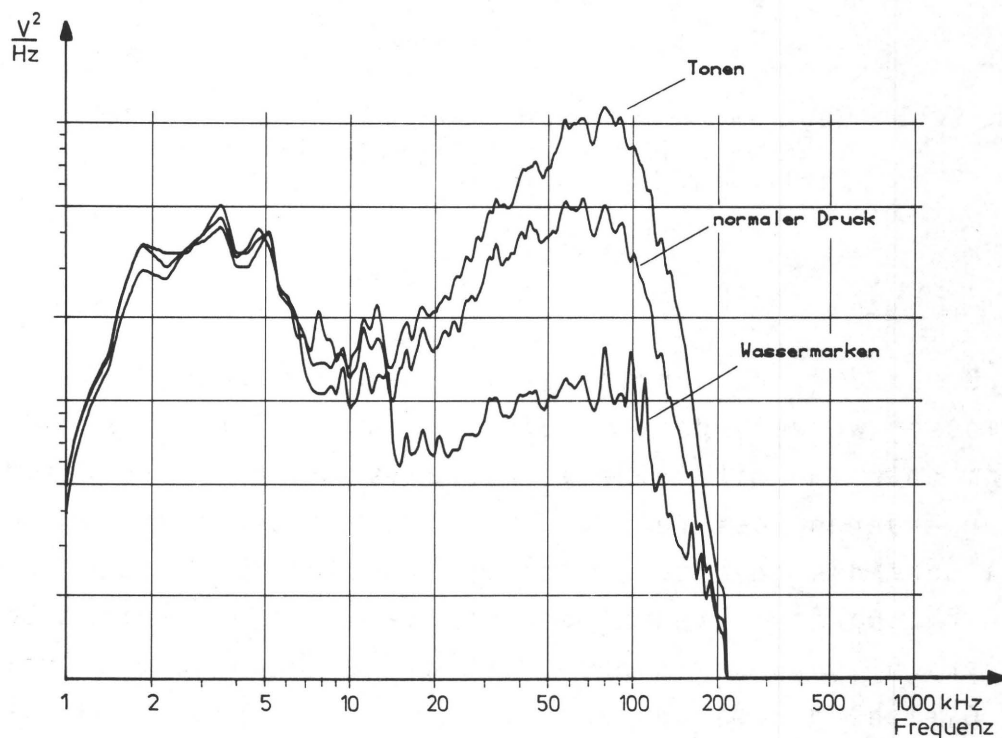


Abb. 3.10 Leistungsspektrum des Farbspaltungsgeräusches bei unterschiedlicher Feuchtmittelzugabe, gemessen mit 1/8-Zoll-Meßmikrophon (doppeltlogarithmisch)

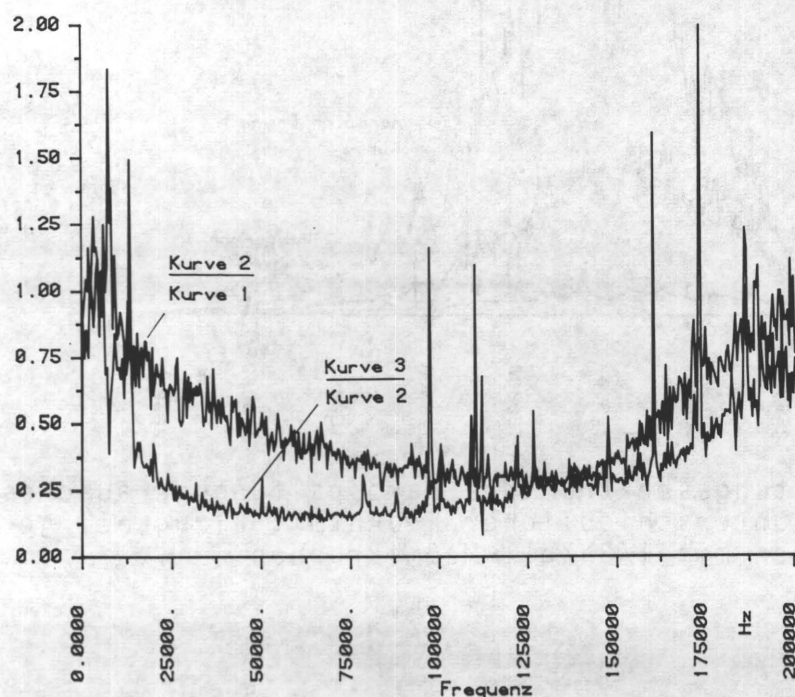


Abb. 3.11 Quotient aus den Kurven Abb. 3.9. Keine frequenzmäßige Abhängigkeit der Spektralwerte vom Feuchtmittel

Auf Grund der frequenzanalytischen Untersuchungen kann somit geschlossen werden, daß es kein "optimales Frequenzband" zur Spaltungskontrolle mit Hilfe von Schallsignalen gibt. Vielmehr hat bei einer Änderung des Verhältnisses Farb-/Feuchtmittelmenge das Integral über das gesamte Spektrum - als Meßgröße - den größten Dynamikbereich. Da das Integral der mittleren abgestrahlten Schalleistung entspricht, und somit proportional dem Quadrat des Effektivwertes (s. Gleichung 3.5) des Signales ist /57/, /58/, /59/, reicht es, diesen Wert meßtechnisch zu erfassen und auf eine jeweilige Frequenzanalyse zur Spaltprozeßkontrolle zu verzichten.



### 3.3 Kristallmikrophone

Meßmikrophone sind teure, hochempfindliche Präzisionsgeräte, die für den rauen Praxisbetrieb in einer Druckmaschine denkbar ungeeignet erscheinen. Deshalb stellte sich die Frage nach robusten unkomplizierten Schallwandlern, welche in Form von piezokeramischen Bauelementen gefunden wurden. Sie kamen bereits bei den ersten Untersuchungen (im Rahmen des Forschungsvorhabens "Farbspaltung" Nr. 4469) /1/ zum Einsatz.

Abb. 3.12 zeigt ein Leistungsdichtespektrum des Farbspaltungsgeräusches, welches mit einem solchen Kristallmikrophon aufgenommen wurde. Das Kristallmikrophon empfängt nur in einem ganz bestimmten schmalbandigen Frequenzbereich im Ultraschallgebiet die Schallwellen des Farbspaltungsgeräusches.

Da in diesem Fall die Leistung des abgestrahlten Schalls über den Frequenzbereich, in dem das Kristallmikrophon arbeitet, nahezu konstant ist, kann diese Kurve als Frequenzgang des Aufnehmers betrachtet werden. Das Kristallmikrophon wirkt quasi als akustischer Bandpaßfilter. Das Empfindlichkeitsmaximum deckt sich zwar nicht genau mit dem Maximum des mit Hilfe des 1/8"-Meßmikrophons gemessenen abgestrahlten Schallpegels (Abb. 3.5), ist aber deutlich von den durch die Maschine zu erwartenden Störungen entfernt (Abb. 3.6). Somit kann ohne Beeinträchtigung des "Signal-Rausch-" bzw. "Signal-Stör-Abstandes" eine ausreichende elektrische Verstärkung gewählt werden.

Das Kristallmikrophon eignet sich also sehr gut als Meßwertaufnehmer zur Spaltungskontrolle, was nochmals an Hand Abb. 3.13 verdeutlicht werden kann. Abb. 3.13 zeigt den gleichen Versuch wie Abb. 3.9, jetzt mit dem Kristallmikrophon aufgenommen. Unter Verzicht auf die frequenzanalytische Untersuchung des gewonnenen Signals läge, wie bereits erwähnt, die Auswertung über den Effektivwert nach Gleichung (3.3) nahe, da hierin die interessante Information enthalten ist. Die im Rahmen dieser Arbeit gewählte Auswertemethode benutzt aber nicht den echten Effektivwert, son-

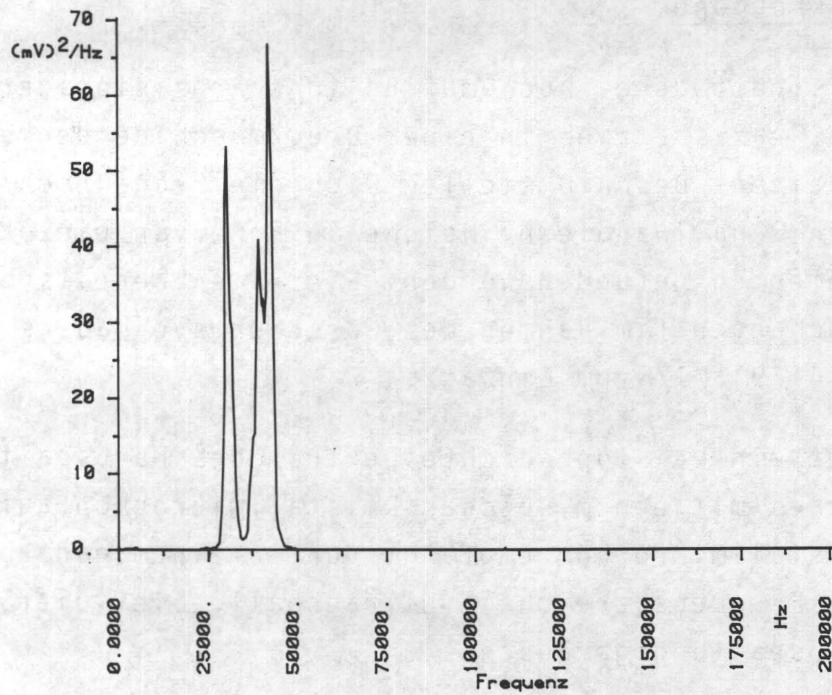


Abb. 3.12 Leistungsdichtespektrum des Farbspaltungsgeräusches, gemessen mit Kristallmikrophon

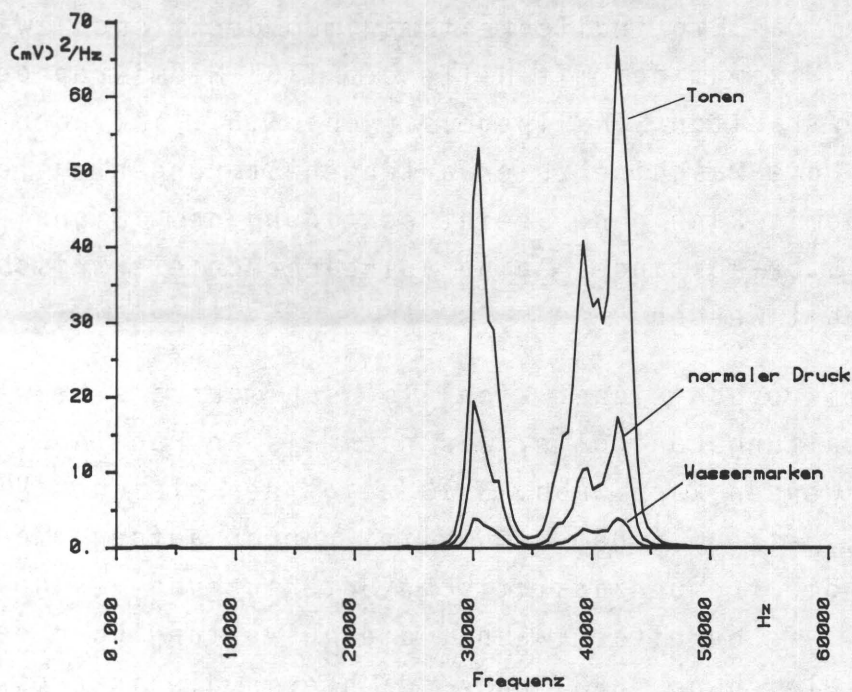


Abb. 3.13 Leistungsdichtespektren des Farbspaltungsgeräusches bei unterschiedlicher Feuchtmittelzugabe, gemessen mit Kristallmikrophon

dern eine eng verwandte elektrische Größe, den Mittelwert des Signals. Wie das Blockschaltbild Abb. 3.14 zeigt, ist der schaltungstechnische Aufwand dabei sehr gering. Die Realisation der Messung des echten Effektivwertes nach Gleichung 3.3 wäre weitaus komplizierter. Die Mittelwertspannung  $\bar{U}$  wird gebildet nach

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt \quad (3.7)$$

Die zugehörige Schaltung besteht aus einem Gleichrichter und einem nachfolgenden Tiefpaßfilter und kommt in dieser Form häufig in einfachen Drehspulmeßgeräten vor.

Kann man voraussetzen, daß im Signal kein Gleichspannungsanteil (=Offset) vorhanden ist, was durch eine kapazitive Verstärkerankopplung gewährleistet ist, so sind Mittelwertspannung und Effektivwert stets durch einen konstanten Faktor verknüpft, also proportional. Für den Fall einer reinen Sinusschwingung heißt dieser Faktor "CREST-Faktor" und beträgt  $U_{RMS}/\bar{U} = 1,11$ .

Die benutzte Verstärker- und Auswerteschaltung ist so robust und einfach, daß sie - mit dem eigentlichen Kristallmikrophon auf einer kleinen Platine integriert - direkt in die Maschine eingebaut werden kann, was aus Gründen verringerter Störanfälligkeit bezüglich elektromagnetischer Einstreuungen sehr von Vorteil ist. Das Kristallmikrophon benötigt im Gegensatz zu den Kondensatormikrophonen keine Polarisationsspannung.

Die bisherigen Untersuchungen wurden mit Typen von Kristallmikrophonen durchgeführt, deren schallempfindliches Piezo-Keramikplättchen zwar in einem Aluminiumgehäuse sitzt, aber zur Schalleintrittsseite hin nur durch ein Gitter gegen Fremdkörper geschützt ist (s. Abb. 6.1 bei /1/).

In einer Praxisdruckmaschine ist aber mit rauen Betriebsbedingungen zu rechnen. So können die Sensoren durch eindringende Farbspritzer oder Reinigungs- und Lösemittel zerstört werden. Es konnte jedoch mittlerweile ein neuer Sensortyp gefunden werden,



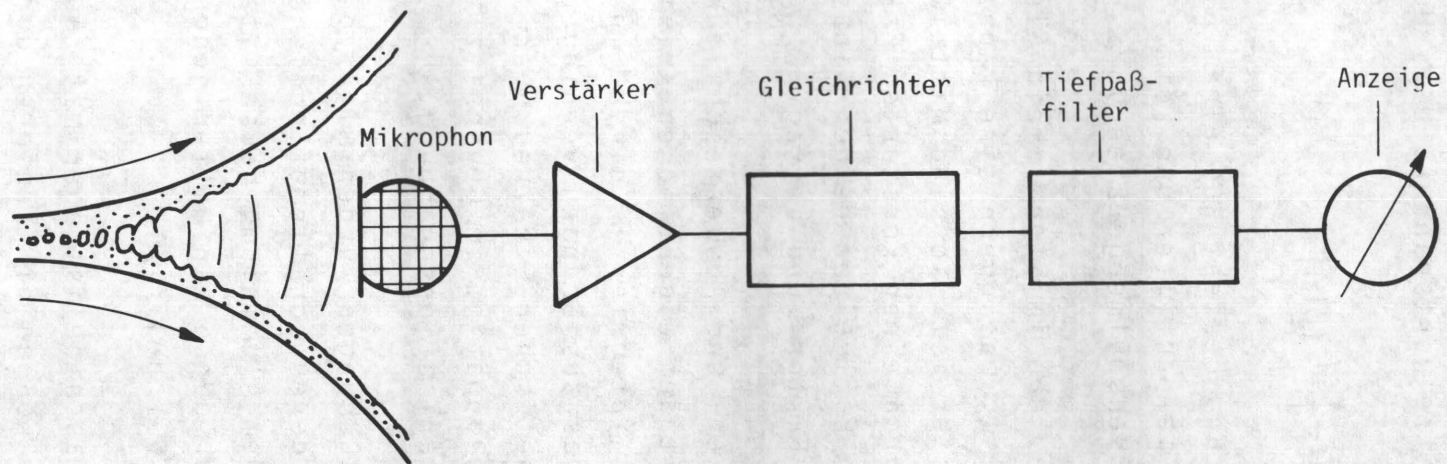


Abb. 3.14 Blockschaltbild zur Erzeugung eines niederfrequenten Signales (Mittelwert) aus dem Wechselspannungssignal des Ultraschallgebers

der rundum durch ein mit Silikon vergossenes Aluminiumgehäuse geschützt ist. Das Eindringen von Flüssigkeiten ist dadurch unmöglich, und die schallempfindliche Oberseite läßt sich bequem reinigen.

Die Kosten eines Kristallmikrophons vom vergitterten Typ betragen derzeit ca. DM 10.--. Die rundum geschlossene Ausführung kostet ca. DM 15.--.

Der entscheidende Vorteil der piezokeramischen Schallaufnehmer im Vergleich zu Meßmikrophonen liegt somit vor allem im Preis, der es erlaubt, sehr viele solcher Kristallmikrophone über der Breite der Maschine anzuordnen (z.B. pro Farbzone), und bei Ausfall oder zu starkem Verschmutzen einfach als "Verschleißartikel" auszutauschen.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Frequenzanalyse wurde also ein Sensor geschaffen, der sich durch niedrigen Preis, geringe Abmessungen und hohe Robustheit sowie bestechende Einfachheit auszeichnet. Mit dessen Hilfe wurden die Untersuchungen in den nachfolgenden Abschnitten 4 und 5 durchgeführt und damit gezeigt, daß die Spaltungskontrolle mit Hilfe von Sonarsignalen eine wichtige Methode zur Qualitätssicherung im Fortdruck darstellt.

#### 4. Abhängigkeit der Ultraschallsignale von verschiedenen Einflußgrößen

Das Offsetdruckverfahren ist ein äußerst komplizierter Prozeß, bei dem die Zahl der vom Drucker veränderbaren Größen (Maschineneinstellungen) sowie die Zahl der verwendeten Materialien und Werkstoffe (Druckfarbe, Hilfsmittel, Papier etc.) groß ist. Hinzu kommen noch äußere veränderliche Bedingungen wie Raumtemperatur, Luftfeuchte etc.

Sollen nun die Spaltprozesse im Offsetfarbwerk mit Hilfe der Trenngeräusche kontrolliert werden, so ist zunächst zu klären, wie sich Veränderungen der Stellgrößen und sonstiger Parameter auf die

Meßgröße auswirken. Im Hinblick auf die obengenannte Vielzahl muß eine Auswahl getroffen werden. Es wurden daher nur solche Einflußgrößen betrachtet, die gezielt und reproduzierbar manipulierbar sind, und welche an Druckmaschinen am häufigsten geändert werden. So wurde z.B. der Einfluß des Raumklimas auf die Ausbildung der Schallereignisse nicht untersucht, da hier keine einfachen Eingriffsmöglichkeiten bestanden. Wie bereits gezeigt, läßt sich zwar das Verhältnis von Druckfarben- zu Feuchtmittelmenge mit Hilfe eines Mikrophons messen, man kann aber nicht differenzieren, welcher der beiden Faktoren für eine Signaländerung verantwortlich ist. Man benötigt zur näheren Klärung der Vorgänge weitere Informationen. Diese können oft durch ein Referenzsignal geliefert werden. Aus diesem Grund wurde die Versuchsmaschine nach Abb. 4.1 an insgesamt zehn Spaltstellen mit Kristallmikrophonen ausgerüstet, um herauszufinden, an welcher Stelle im Farbwerk charakteristische Signaländerungen infolge Farbführungsschwankungen auftreten, und wo sich Feuchtmittelführungsschwankungen am stärksten auswirken.

Für die Versuche sind die akustischen Meßwertaufnehmer an Traversen in Axialrichtung ungefähr in der Mitte der Maschine positioniert. (Für eine spätere Anwendung in einer Praxismaschine zur Kontrolle oder Regelung des Druckprozesses ist es jedoch ohne weiteres denkbar, eine Reihe von akustischen Sensoren über die Druckbreite anzuordnen). Da bei diesen Sensoren eine hohe (frequenzabhängige) Richtwirkung auftritt, kann als maximale Breite der Aufnahmezone ca. 100 mm angenommen werden. Bereits nach kurzer Zeit zeigte sich, daß es genügt, von den zehn nach Abb. 4.1 in die Maschine eingebauten akustischen Aufnehmern nur zwei näher zu betrachten. Es sind dies die Mikrophone, die in der Zeichnung mit  $M_F$  und  $M_W$  gekennzeichnet sind.

Die Signale dieser beiden Meßwertaufnehmer reagieren am unterschiedlichsten auf Veränderung der Stellgrößen. Die anderen Mikrophonsignale liegen in ihrem Verhalten je nach ihrer Position im Farbwerk zwischen diesen Extremen. Die Signale der Mikrophone



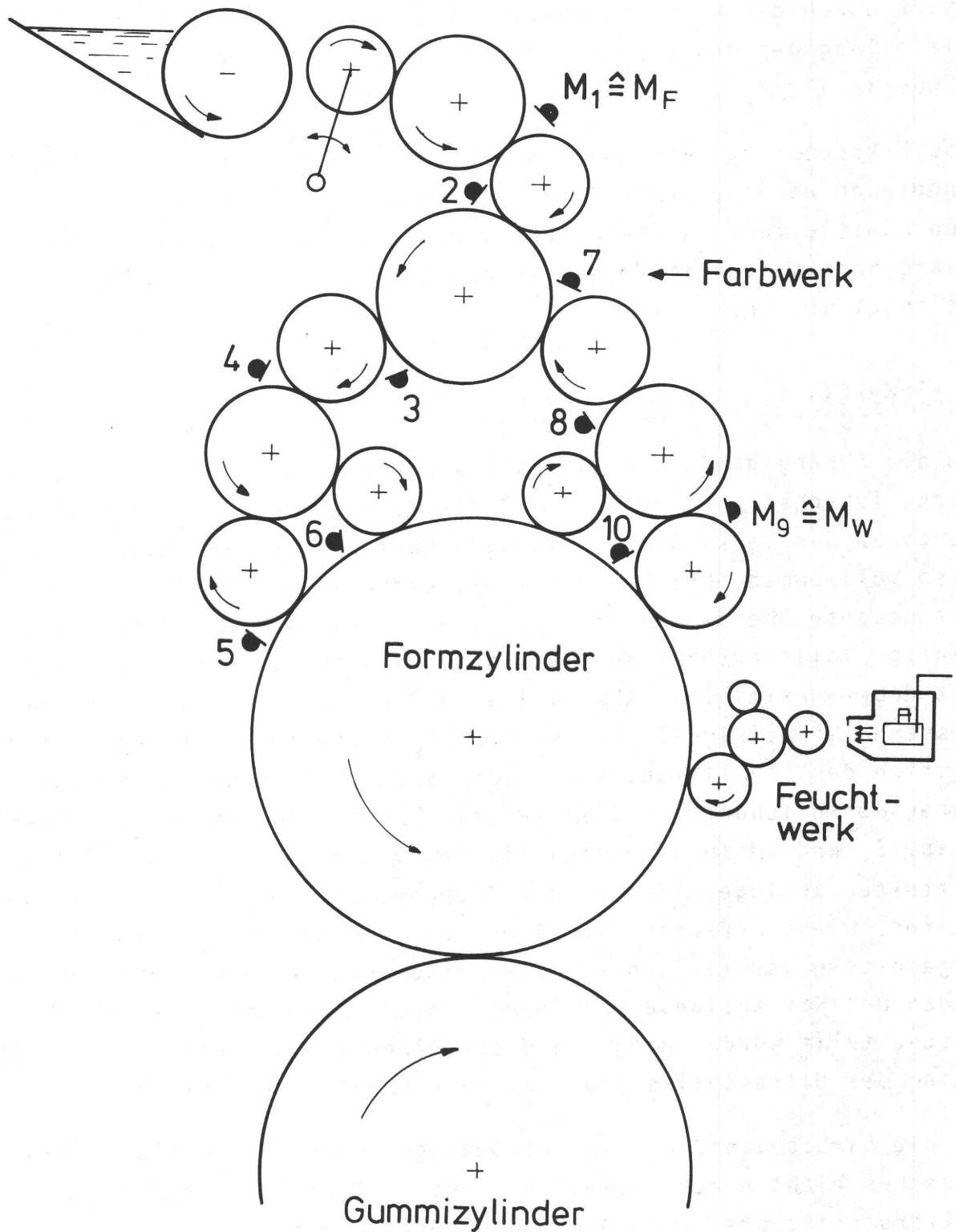


Abb. 4.1 Farbwerkskonstellation der Versuchsmaschine und Anordnung der Mikrophone

zwischen der Druckplatte und den Farbauftragswalzen werden sehr stark durch den Kanalunterbruch gestört und sind auch von der Verteilung der druckenden und nichtdruckenden Flächenelemente abhängig.

Das Mikrophon  $M_F$  kann quasi als Farbführungsreferenzmikrophon angesehen werden, während das Mikrophon  $M_W$  stärker durch die Feuchtmittelführung beeinflusst wird. Die Signalspannungen dieser Mikrophone sollen im folgenden entsprechend mit  $U_F$  und  $U_W$  bezeichnet werden.

#### 4.1 Der Einfluß der Farbschichtdicke

Um die Abhängigkeit der Ultraschallsignale von der Farbschichtdicke zunächst ohne den Einfluß des Feuchtmittels zu untersuchen, wurde an der Versuchsdruckmaschine quasi im Hochdruckverfahren, also vollkommen ohne Feuchtmittel, gedruckt. Das bedeutet, daß die gesamte Oberfläche der Platte mit Farbe benetzt wird, und eine einzige Volltonfläche auf das Papier übertragen wird. Der Farbfluß ist dabei maximal. In Abb. 4.2 a) und b) sind nun die dabei gemessenen Schallsignale von  $M_F$  bzw.  $M_W$  dargestellt. Der gemessene Anstieg der Schallsignale mit höherer Farbfilmdicke läßt sich wohl unter Heranziehung der Gedanken zur Entstehungsursache des Schalls (Kap. 3) und im Zusammenhang mit dem von Voet (/18/ S.67 ff) ermittelten analogen Anstieg der Trennenergie bei der Farbspaltung erklären. Diese Erkenntnisse sind auch im Einklang mit den Untersuchungsergebnissen von /9/ und /21/, wo eine Zunahme der Anzahl von Farbfäden und Kavitationerscheinungen mit wachsender Schichtdicke festgestellt wurde. Aufgrund dieser Arbeiten ist ein linearer Anstieg des Ultraschallsignals mit der Farbschichtdicke zu erwarten.

Da die Farbschichtdicke am Entstehungsort des Farbspaltungsgeräusches nicht direkt gemessen wurde, ist stattdessen die Farbduktorstreifenbreite in den Diagrammen aufgetragen. Es ist anzunehmen, daß die Farbschichtdicke auf den Farbwerkswalzen nicht streng proportional zu dieser Stellgröße ist. Die effektive Schicht-



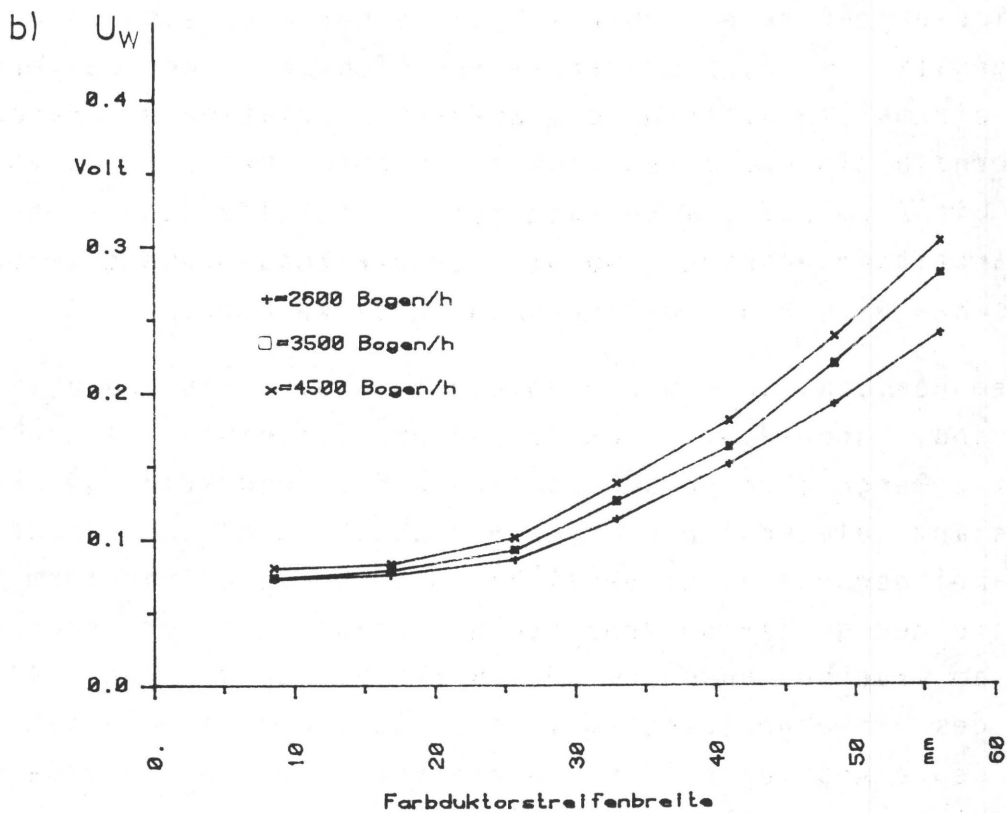
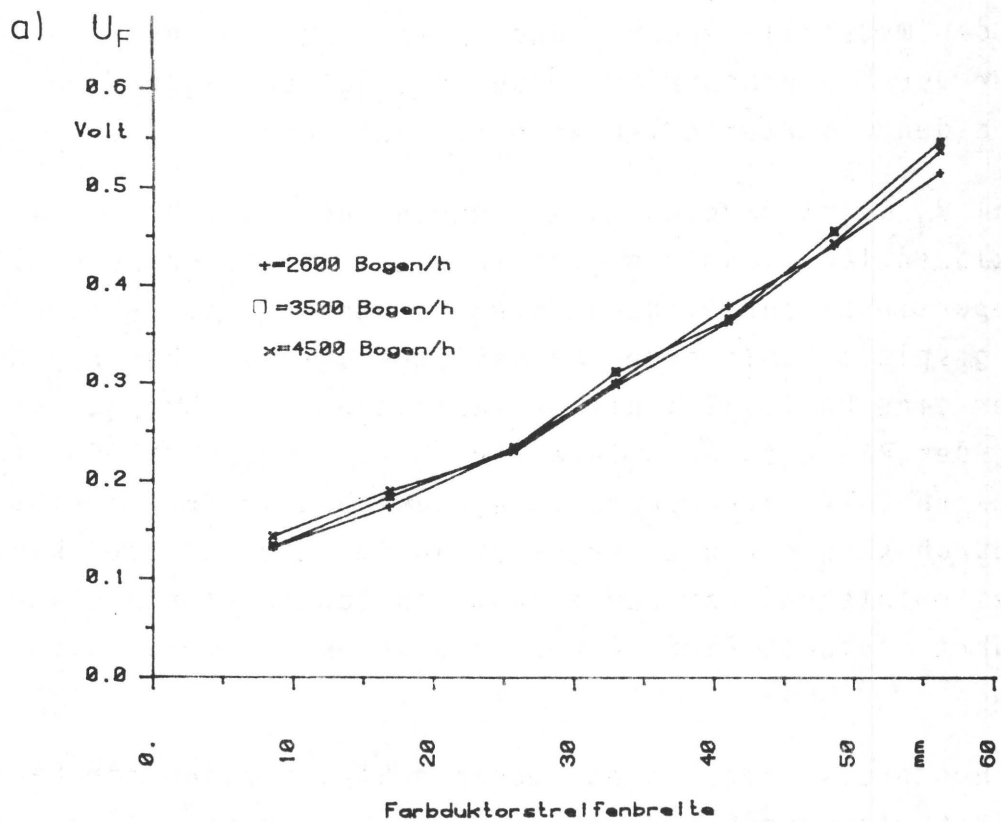


Abb. 4.2 Mikrophonspannungen in Abhängigkeit des Farbduktordrehwinkels beim "Hochdruck"

dicke an der Meßstelle von  $M_F$  hängt jedoch sehr direkt von der Farbzufuhr durch den Heber ab. Dadurch zeigt das Signal  $U_F$  auch weitgehend den erwarteten linearen Verlauf (Abb. 4.2 a).

Das Signal  $U_W$  weist dagegen einen "Durchhang" auf, der sich nur damit erklären läßt, daß die Farbschichtdicke an der Meßstelle nicht proportional zur eingespeisten Farbmenge ist. In diesem Zusammenhang spielt nämlich der Mechanismus der Farbübertragung auf das Papier eine Rolle. Bei kleiner angebotener Farbmenge ist die Benetzung des Papierees unvollständig. Dies führt nach /60/ zu einer nichtlinearen Übertragungskennlinie, was auch in /61/ bestätigt wird. Dadurch kann ein kleiner Farbstau im unteren Bereich des Farbwertes entstehen, was zum anfänglich langsameren Anstieg bei  $U_W$  führt. Auf den Einfluß der Drehzahl wird im nächsten Kapitel eingegangen.

Da beim "Hochdruck"-Versuch der gesamte Stellbereich der Farbduktorstreifenbreite durchfahren wurde, was aber nicht praxisgerecht ist, weil die gedruckte Farbschichtdicke normalerweise in engen Grenzen gehalten wird, beschränkte man sich bei einem weiteren Versuch, diesmal im Offsetdruck, auf eine Variation der Farbzugabe innerhalb eines praxisüblichen Schichtdickenbereichs von ca.  $1\text{ }\mu\text{m}$  bis  $2\text{ }\mu\text{m}$  auf dem Bedruckstoff. Mit Hilfe einer separaten Bedruckbarkeitsuntersuchung wurde dazu der Zusammenhang zwischen der optischen Dichte und der Farbschichtdicke hergestellt.

Bei diesem Versuch, dessen Ergebnisse in Abb. 4.3 a und b wiedergegeben sind, wurde die in den Prozeß pro Zeiteinheit eingebrachte Feuchtmittelmenge ohne Berücksichtigung der Produktionsgeschwindigkeit konstant belassen. Die Grenzbereiche "Tonen" und "Wassermarken" wurden dabei dennoch nicht erreicht. Die benutzte Druckform bestand aus einer großen 50-Prozent-Rasterfläche mit Druckkontrollstreifen am Druckbeginn und -ende. Hinsichtlich der Kontrolle bzw. Regelung des Offsetprozesses mit Hilfe der Sonarsignale ist der nahezu lineare Anstieg beider Signale von  $M_F$  und  $M_W$  besonders günstig, da einfache Algorithmen zur Anwendung kommen können. Eine vergleichende Messung von Wiesner (/1/ Abb. 8.4) zeigt die Linearität für  $M_W$  in einem noch weiteren Stellbereich auf.

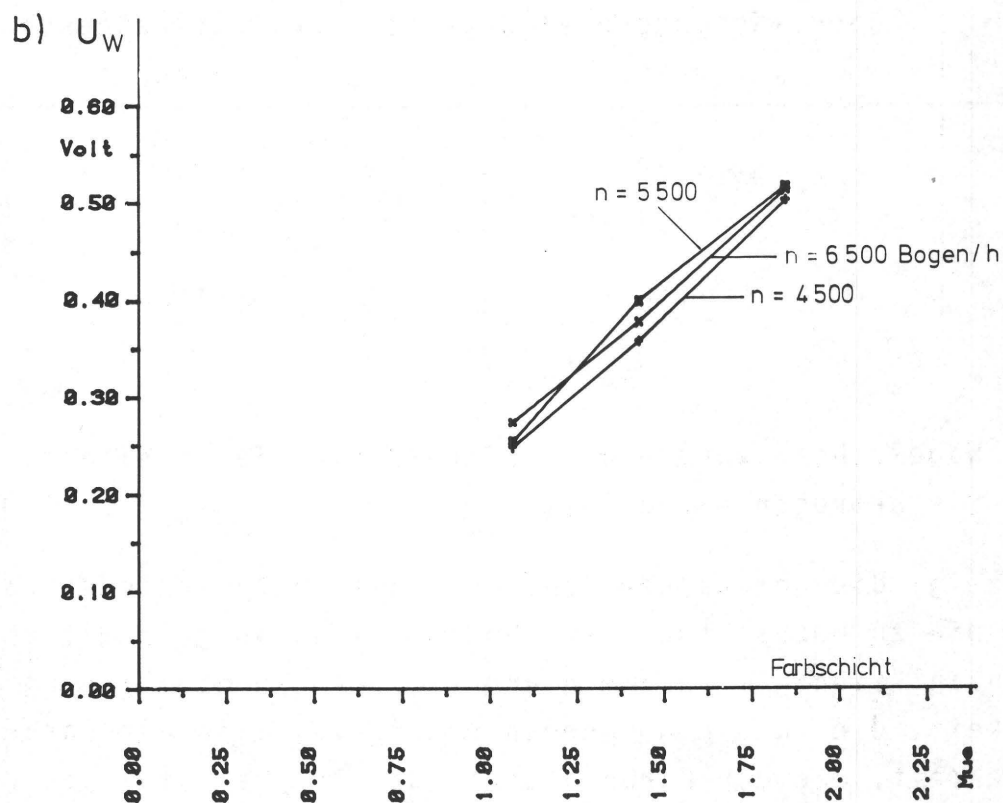
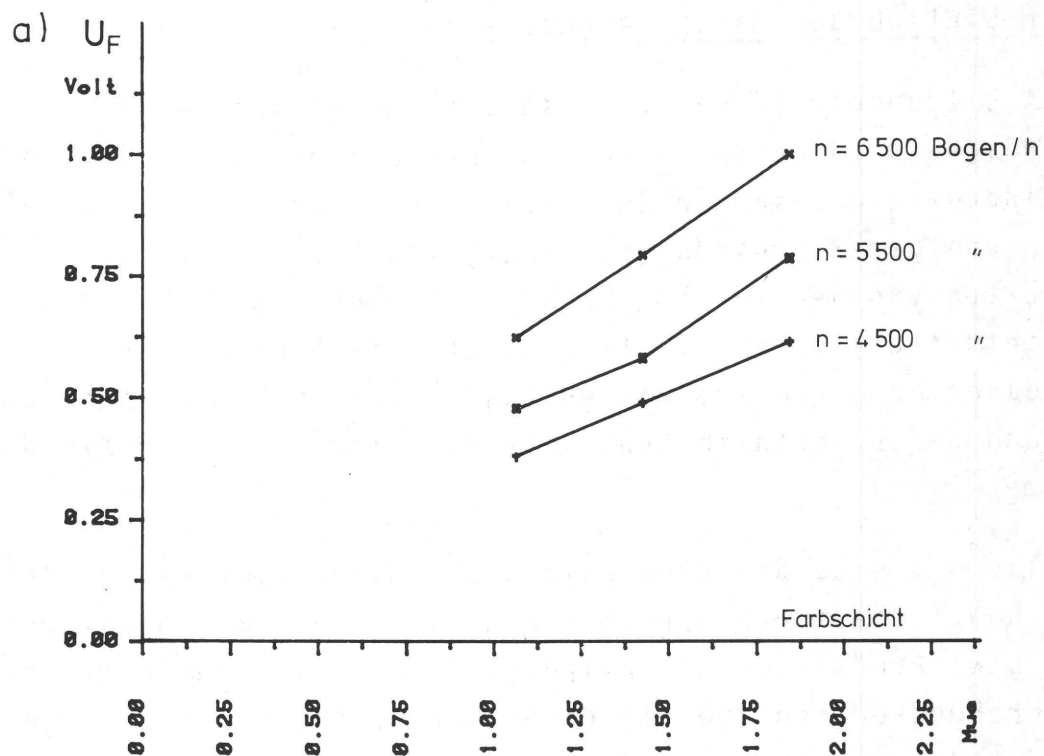


Abb. 4.3 Mikrophonspannungen in Abhängigkeit der gedruckten Farbschicht auf dem Papier bei konstanter Feuchtigkeit



#### 4.2 Der Einfluß der Maschinengeschwindigkeit

In den Abbildungen 4.2 und 4.3 ist als Kurvenparameter die Druckgeschwindigkeit aufgetragen worden. Bei diesen Kurven lassen sich keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen den gemessenen Schallsignalen und der Maschinengeschwindigkeit ablesen, da sich die Abhängigkeiten von der lokalen Farbschichtdicke (bei Abb. 4.3 auch vom Feuchtmittel) offensichtlich nicht eliminieren lassen. Es wurden daher an einem Zweiwalzenstuhl (nach /62/) Versuche zur Ermittlung der Drehzahlabhängigkeit des Ultraschallsignals durchgeführt.

In Tabelle 4.1 sind die Drehzahlen, bei denen gemessen wurde, zum Vergleich auf Oberflächengeschwindigkeiten (bei 80 mm Walzendurchmesser) bzw. Produktionsgeschwindigkeiten (bei einem Plattenzylinderdurchmesser von 300 mm) einer Bogenoffsetmaschine umgerechnet worden:

Drehzahl 1/sec	Oberflächengeschwindigkeit m/sec	Produktionsgeschwindigkeit Bogen/h
5	1,26	2400
15	3,77	7200
30	7,54	14400

Tab. 4.1

Über eine Wägemethode wurden die aufgetragenen Farbschichtdicken bestimmt. Sie betrugen 4 und 8  $\mu\text{m}$ .

Abb. 4.4 zeigt die gemessenen Schallsignale in Abhängigkeit der Drehzahl. Die zu beobachtende Zunahme des Schallpegels mit der Walzendrehzahl steht im Zusammenhang mit der erhöhten Trenngeschwindigkeit, die zu einem höheren Schergefälle in der Farbe führt. Die Zeit, die der Farbe bleibt, der Dehnbelastung durch Fließen nachzugeben, wird geringer, was zu einer erhöhten Anzahl von Farbfäden führt, wie es die fotografischen Untersuchungen

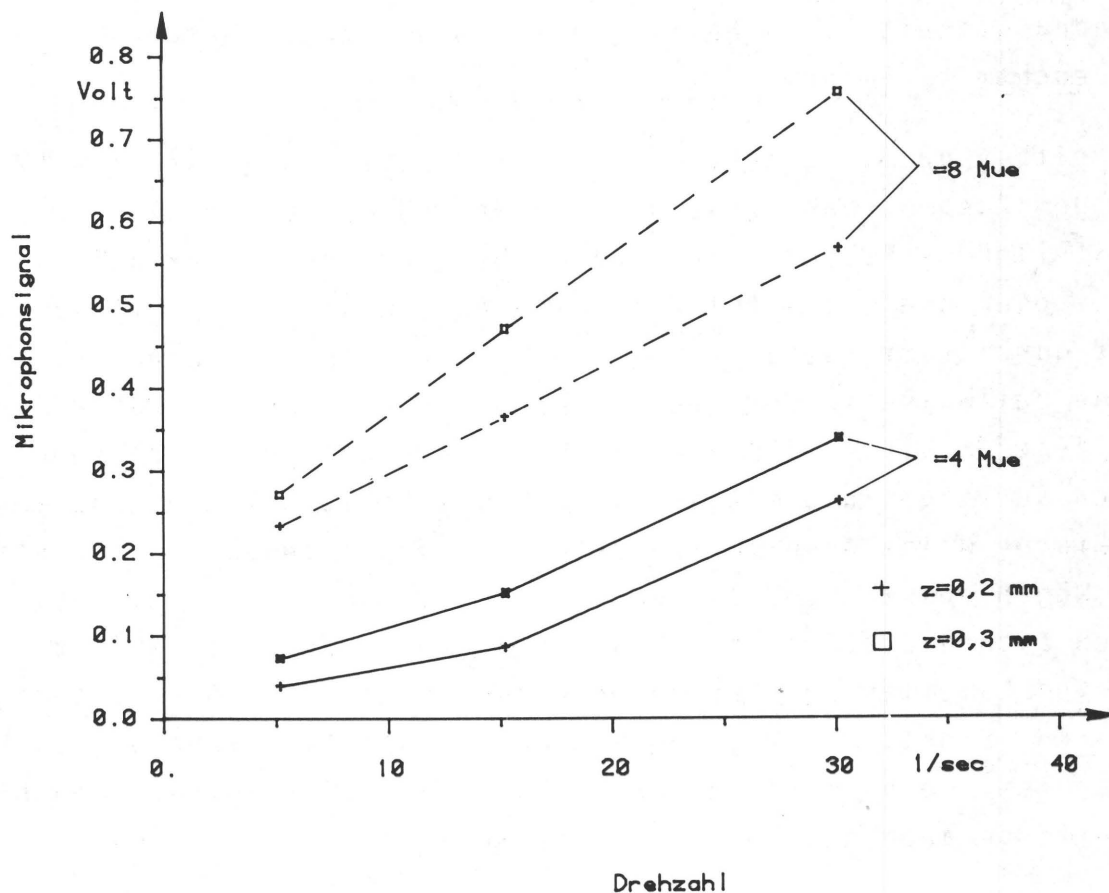


Abb. 4.4 Abhängigkeit des Mikrophonsignales von der Drehzahl des Zweiwalzensystems bei verschiedenen Farbschichtdicken und Anstellungen  $z$

bei /9/ und /21/ beweisen. Auch die Zahl der Kavitationsbläschen steigt mit wachsender Drehzahl /9/. Beides führt zu einer Vergrößerung der Zahl der schallabstrahlenden Hohlräume und damit zu einer Schallpegelerhöhung. Insbesondere korrespondiert der in /19/ bei Erhöhung der Drehzahl gefundene lineare Anstieg der Anzahl der Kavitationsblasen mit den Kurven nach Abb. 4.4, wo der Anstieg des Schallsignals ebenfalls auffällig linear verläuft.

Bei allen Versuchen im Rahmen dieser Arbeit wurde ohne Ausnahme ein Anstieg des Schallsignals mit der Drehzahl beobachtet. Der Anstieg zeigt sich aber bei keinem der weiteren Versuche so steil wie hier am Zweiwalzenstuhl. Anhand Abb. 4.4 wird auch sehr deutlich, daß die Farbschichtdicke den wohl stärksten Einfluß auf die Höhe des Schallsignals ausübt.

#### 4.3 Abhängigkeit der Schallsignale von der zugeführten Feuchtmittelmenge

Das weitaus größte Interesse bei der Durchführung dieser Arbeit galt dem Zusammenhang zwischen der Meßgröße Ultraschallsignal und der Stellgröße Feuchtmittelzugabe. Der vom Feuchtwerk auf die Platte oder die erste Auftragswalze aufgebrachte Feuchtfilm zerfällt durch fortgesetztes Spalten schließlich in kleine Tröpfchen, welche teilweise in der Druckfarbe emulgiert werden und teilweise nach jeder Spaltung als Oberflächenwasser auf den gespaltenen Farbfilm aufliegen und mit in die nächste Spaltstelle einlaufen. Die Druckfarbe weist deshalb innere Grenzflächen gegen das Feuchtmittel auf. Wegen dessen rund um den Faktor 1000 geringeren Viskosität können sich diese Grenzflächen leicht verformen, so daß die Bildung von Lamellen und Farbfäden erleichtert wird. Die Naßzügigkeit /63/ sinkt, was mit dem Sinken der Spaltungsarbeit gleichzusetzen ist. Deshalb ist zu erwarten, daß bei steigender Feuchtmittelmenge auch die Amplitude des Schallsignals abnimmt.

Schon bei den ersten Druckversuchen zur Messung des Spaltungsgeräusches zeigte sich ein gravierender Nachteil des in der Versuchsmaschine vorhandenen konventionellen Feuchtwerkes. Es handelt sich um ein Heberfeuchtwerk, wobei der Heber und die zwei Auftragswalzen mit saugfähigem Plüschmaterial bespannt sind.

Da bei den Versuchen ein Zusammenhang zwischen den Stellgrößen an der Maschine und der Ausbildung des Schallsignales aufzustellen ist, käme als Stellgröße für die Feuchtmittelzuführung der Drehwinkel des Feuchtduktors in Frage. Dieser Zusammenhang ist auch bis hin zum drucktechnischen Grenzbereich des Tonens interessant. Nach einmaligem "Tonen" nehmen aber die Plüschwalzen auch Farbe an und werden zunehmend wasserabstoßend. So ist nicht gewährleistet, daß bei gleicher Einstellung der Stellgröße Feuchtduktordrehwinkel die gleiche Feuchtmittelmenge ins Farbwerk gespeist wird. Aufgrund der hohen Speicherkapazität dieser Walzen für Feuchtmittel ist auch die Zeit, die vergeht (bzw. die Anzahl der Bogen) bis nach



Veränderung der Stellgröße wieder ein stationärer Betriebszustand erreicht ist, zu groß.

Die Lösung des Problems bot sich in Form eines Schleuderfeuchtwerkes /64/. Ein Schleuderfeuchtwerk ist ein Feuchtwerkssystem, welches prinzipbedingt keinen störenden Rückfluß hat. Der Sollwert der Feuchtmittelfördermenge kann bei diesem System direkt als elektrisches Spannungssignal abgegriffen werden oder aber auch durch eine Spannung beeinflusst werden. Somit erweist sich diese Anordnung als optimal für die Durchführung der beabsichtigten Untersuchungen. Der Hersteller dieser Systeme überließ der Forschungsstätte freundlicherweise für die Zeit der Untersuchungen eine solche Anlage. Den schematischen Aufbau des Schleuderfeuchtwerkssystems zeigt Abb. 4.5 (nach /65/). Da mit einem Rotor nur eine ca. 100 mm breite Zone gefeuchtet werden kann, sind sechs Rotoren auf einem Rotorbalken achsial zur Maschine angebracht. Die Zufuhrmenge an Feuchtmittel läßt sich mit Hilfe der Regelung nachgeschalteter Zonenventile für jeden Rotor individuell beeinflussen. So kann die Feuchtmittelzufuhr den Bedürfnissen der Druckform entsprechend mit einem achsialen Mengenprofil versehen werden.

Die Anordnung in der Versuchsmaschine ist so gewählt, daß nur ein Rotor für den achsialen Bereich zuständig ist, in dem die akustischen Sensoren aufnehmen.

Für die Versuche interessant ist nun der Zusammenhang zwischen der Einstellung des Stellgliedes (Handradeinstellung in Skalenteilen) und der in das Feuchtwerk gespeisten Feuchtmittelmenge. Dazu wurde die von einem einzigen Rotor tatsächlich in Richtung auf die erste Feuchtwerkswalze geschleuderte Feuchtmittelmenge mit Hilfe eines entsprechend geformten Blechbehälters aufgefangen. Die innerhalb einer Minute gesammelte Flüssigkeitsmenge wurde danach umgehend gewogen.

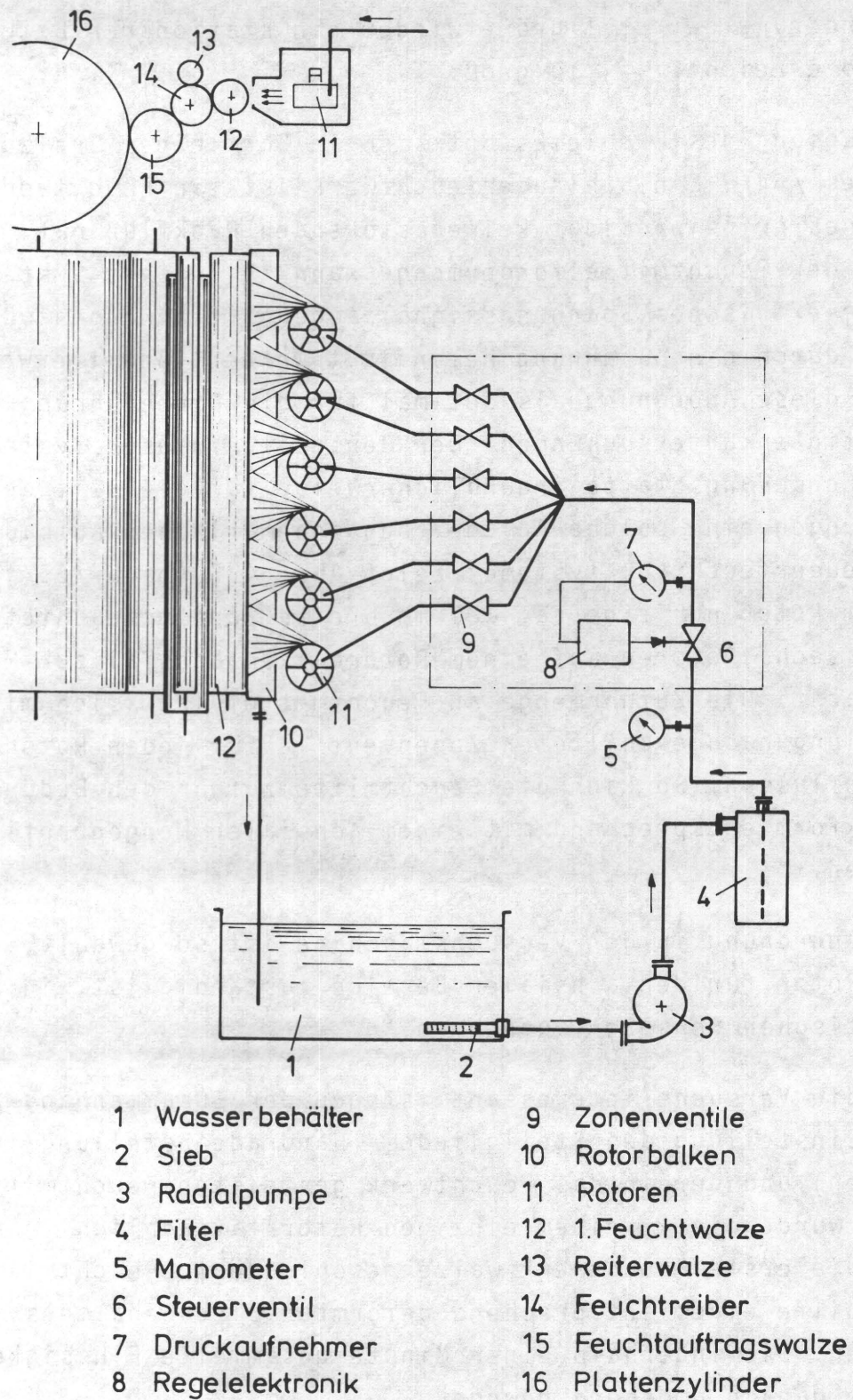


Abb. 4.5 Prinzipskizze des Schleuderfeuchtwerkes

Abb. 4.6 zeigt den auf diese Weise gemessenen Feuchtmittelförderstrom  $\dot{m}_F$  in g/min über den zugehörigen Skaleneinstellungen  $x$ . Als Ausgleichskurve wurde eine Potenz-Funktion gewählt, deren Koeffizienten

$$\dot{m}_F = 0,0038 + 0,219 \cdot x^{0,612} \quad (4.1)$$

mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate angepaßt wurden. Die Korrelation ist dabei sehr gut und der Korrelationskoeffizient beträgt  $r = 0,996$ .

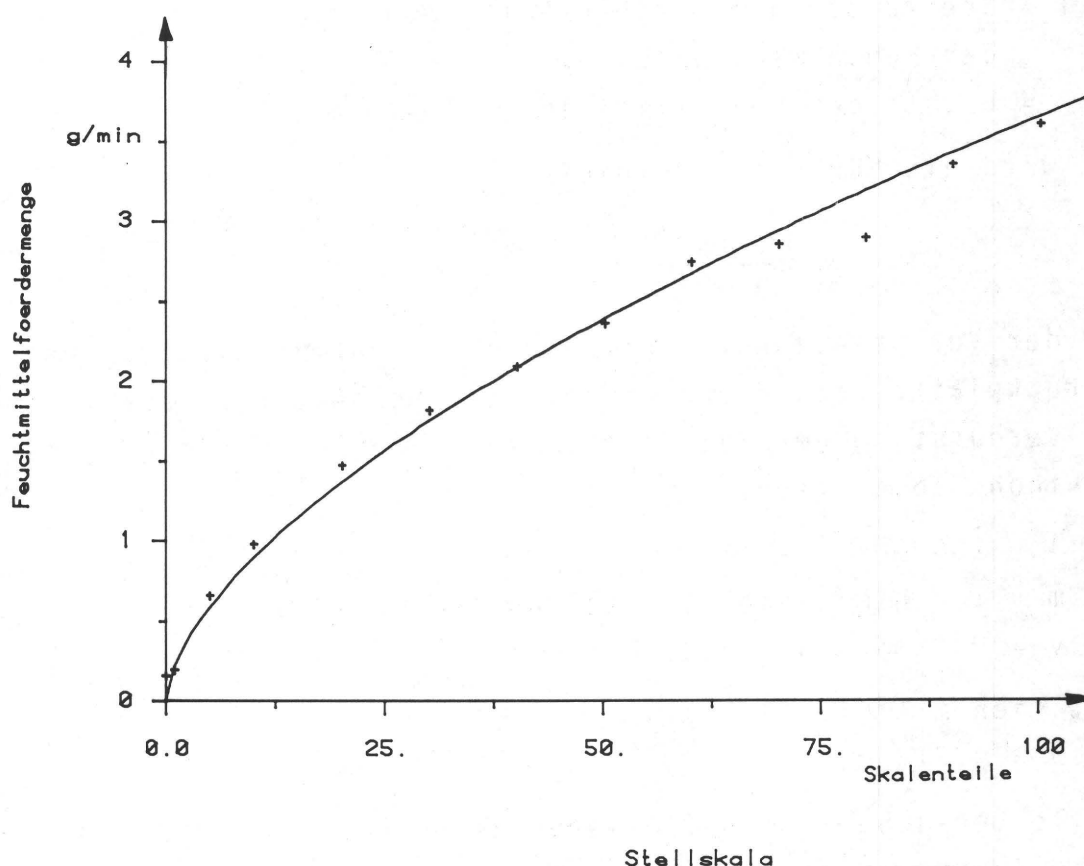


Abb. 4.6 Zusammenhang zwischen Feuchtmittelfördermenge und Skalenteilung am Stellknopf

Eine kurze Abschätzung der vorliegenden Mengenverhältnisse gibt Aufschluß über die in der Maschine zu erwartenden Gegebenheiten: Unter der Voraussetzung, daß der auftreffende Tröpfchenfächer



sofort zu einem Feuchtmittelfilm umgeformt wird, gilt die Kontinuitätsgleichung

$$\dot{m}_F = \varrho \cdot v \cdot w \cdot l = \text{konst.} \quad (4.2)$$

mit

$v$  = Oberflächengeschwindigkeit der empfangenden Walze = Druckgeschwindigkeit

$w$  = Förderschichtdicke des Feuchtmittels

$l$  = Breite der durch einen Rotor beaufschlagten Zone auf der Feuchtwerkswalze

$\varrho$  = Dichte des Feuchtmittels =  $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{mm}^{-3}$

Damit wird die Förderschichtdicke

$$w = \frac{\dot{m}_F}{\varrho \cdot v \cdot l} \quad (4.2')$$

Unter der Voraussetzung, daß zwischen Feuchtmittelaufsprühstelle und Druckplatte kein Feuchtmittel verlorengelassen wird (was aber sicher durch Verdunstung der Fall ist), läßt sich somit die geförderte Schichthöhe abschätzen:

Mit  $l = 100 \text{ mm}$

$\dot{m} = 1 \text{ g/min}$  (bei Einstellung 10 Skt; Abb. 4.6)

$v = 236 \text{ mm/s}$  bei 3600 Bogen/h

ergibt sich mit Gl. (4.2')

$w = 0,71 \text{ } \mu\text{m}$ .

Für alle Versuche an der IDD-Versuchsdruckmaschine wurde die gleiche Zusammensetzung des Feuchtmittels gewählt. Es bestand aus:

50 Teilen Leitungswasser      Härtegrad  $15^{\circ} - 16^{\circ} \text{ d.H.}$

50 Teilen enthärtetes Wasser      "       $0^{\circ} - 1^{\circ} \text{ d.H.}$

3 Teilen eines handelsüblichen Feuchtmittelzusatzes.

Bei der hälftigen Zusammenmischung enthärteten Wassers mit unbehandeltem Leitungswasser stellt sich ein resultierender Härtegrad von ca.  $8^{\circ} \text{ d.H.}$  ein, welcher dem in /41/, /66/ und /67/ genannten Optimum entspricht.

Abb. 4.7 bis 4.10 zeigen nun die Ultraschallsignale der Mikrophone  $M_F$  und  $M_W$  in Abhängigkeit von der Feuchtmittelfördermenge. Die Kurven wurden im Laufe dreier Druckversuche mit jeweils verändertem Anteil an druckenden und nichtdruckenden Stellen auf der Druckform gewonnen. Es wurde bei zwei verschiedenen Druckgeschwindigkeiten 3500 Bogen/h und 4500 Bogen/h gemessen und die Farbzugabe ebenfalls in zwei Stufen variiert. Dabei wurde die Schichtdicke auf dem Papier wieder über die optische Dichte eines Volltonfeldes bestimmt. Obwohl es wahrscheinlich ist, daß die Feuchtmittelmenge über die Beeinträchtigung des Spaltungsverhaltens der Farbe /1/ auch die optische Volltondichte im Druck beeinflußt, konnte bei diesen Versuchen keine signifikante Korrelation zwischen Feuchtmittelzugabe und Dichteschwankungen festgestellt werden.

Die Feuchtmittelzugabe wurde in den drucktechnisch relevanten Bereichen zwischen "Tönen" und "Wassermarken" variiert. Dabei wurde versucht, innerhalb dieses Bereiches immer mindestens vier Meßpunkte erfassen zu können.

Es zeigt sich in Abb. 4.7 a und b, daß die Meßwerte für das Mikrophon  $M_W$  erwartungsgemäß fallen, wenn die Feuchtmittelzugabe erhöht wird. Der Abfall wird durch ein leichtes "Durchhängen" charakterisiert.

Versucht man die Stützstellen mit Hilfe von Ausgleichskurven anzunähern (Abb. 4.8 a, b, c), bieten sich zwei Alternativen:

- 1) Mit guter Näherung läßt sich eine Ausgleichsgerade (strichpunktierte Linien) durch die Kurvenpunkte legen mit

$$U_W = a \cdot \dot{m}_F + b \quad (4.3)$$

$\dot{m}_F$  = Feuchtmittelmenge/Zeit

b = Achsenabschnitt

Dabei wird der Steigungskoeffizient a negativ.

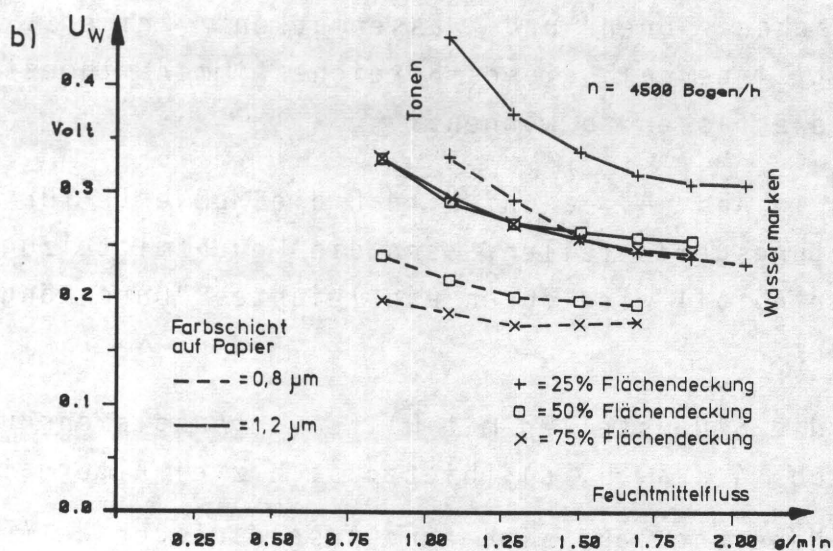
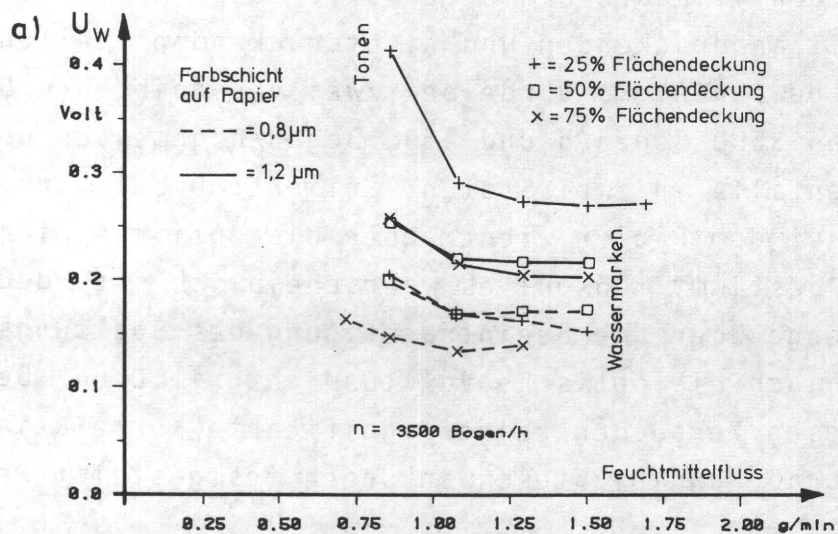


Abb. 4.7 Mikrofonspannung  $U_W$  in Abhängigkeit der pro Zeiteinheit zugeführten Feuchtmittelmenge

a) bei 3500 Bogen/h

b) bei 4500 Bogen/h



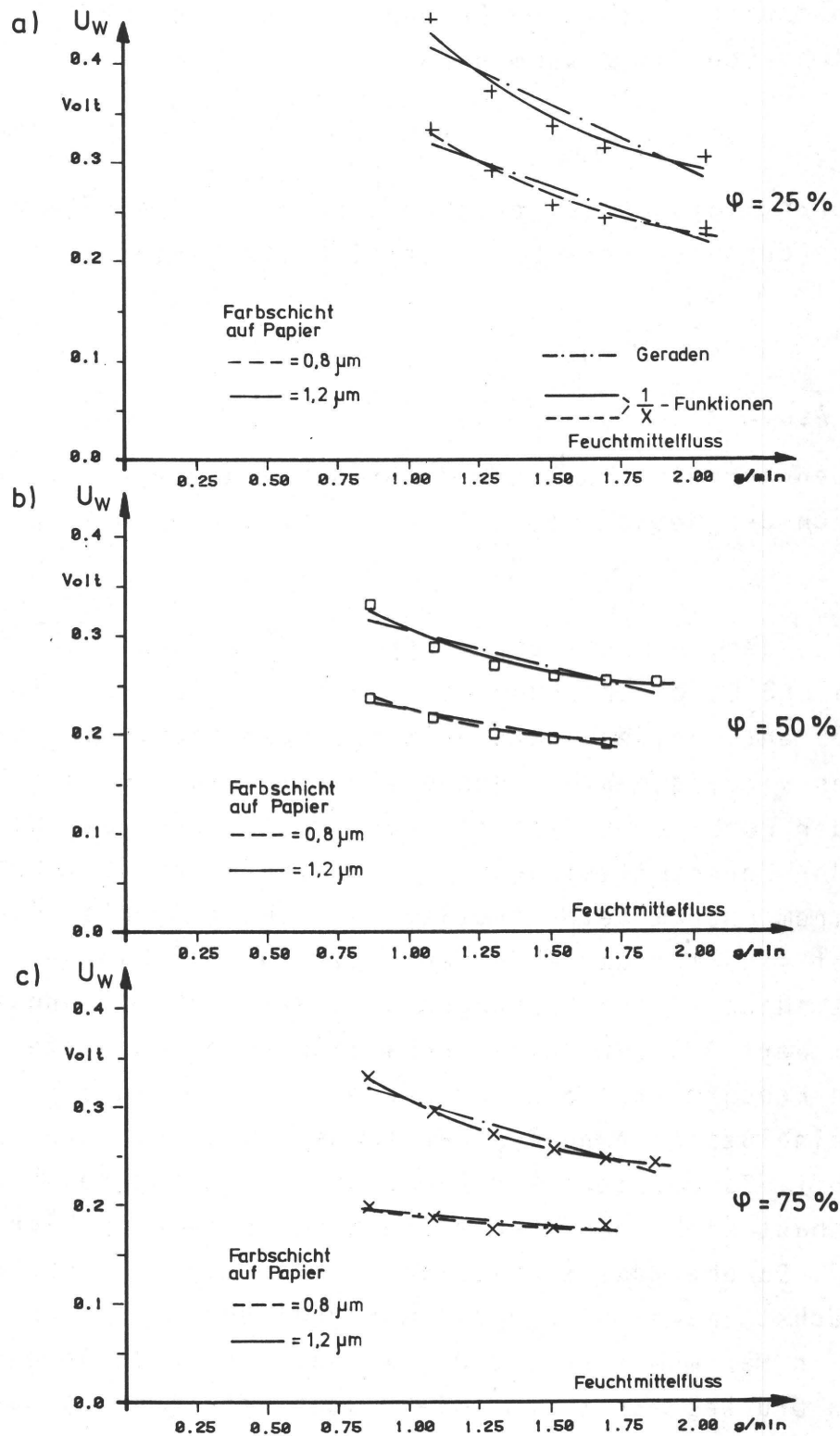


Abb. 4.8 Mikrophonspannung  $U_W$  in Abhängigkeit der pro Zeiteinheit zugeführten Feuchtmittelmenge Ausgleichskurven bei 4500 Bogen/h

- a) bei 25% Flächendeckung im Druck  
 b) " 50% " " "  
 c) " 75% " " "

- 2) Nach den ersten gewonnenen Erkenntnissen z. B. aus /1/ ließe sich auch ein Zusammenhang

$$U_w \sim \frac{1}{\dot{m}_F} \quad (4.4)$$

formulieren. Tatsächlich ergeben sich mit der Ausgleichsfunktion (durchgezogene bzw. gestrichelte Linien):

$$U_w = \frac{a}{\dot{m}_F} + b \quad (4.5)$$

(b = Asymptote für  $\dot{m}_F \rightarrow \infty$ )

die besten Korrelationskoeffizienten, wenn die Konstanten a und b nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate bestimmt werden.

Die Meßwerte des Farbreferenzmikrophons  $M_F$  zeigen aber nach Abb. 4.9 a und b bei Erhöhung der Feuchtmittelzugabe einen Effekt, der entscheidend dazu beiträgt, daß sich, wie später beschrieben wird, die Störungen des Druckprozesses nach Veränderungen der Farb- oder Wasserführung separieren lassen. Eine Erhöhung der Feuchtmittelzugabe - vom "Tonen" aus - führt nämlich zu einem unerwarteten Anstieg des Schallsignals. Dieser Effekt läßt sich mit dem Phänomen erklären, das Wiesner in /1/ beschreibt. Nach seinen Messungen wird der Farbspaltungsfaktor  $\alpha$  von seinem Wert 0,5 für reine Farbschichten durch gesteigerte Zugabe von Feuchtmittel bis auf Werte von 0,35 reduziert. Das bedeutet eine Behinderung des Farbtransportes vom Farbduktor zum Bedruckstoff. Es entsteht ein Farbstau am Ausgang des Farbwerkes. Daraufhin baut sich im Farbwerk ein höheres Gesamtschichtdickenniveau auf. Da aber das Schallsignal mit steigender Farbschichtdicke anwächst, macht sich dies im Signal von  $M_F$  als Anstieg bemerkbar. Ein Maximum erreicht das Signal von  $M_F$  im Bereich einwandfreien Druckes. Erst wenn die Feuchtmittelführung noch weiter erhöht wird, beginnt das Signal wieder abzusinken.

Es ist sicher anzunehmen, daß in diesem Zeitpunkt Feuchtmittel bis zur Meßstelle  $M_F$  vorgedrungen ist und den Abfall des Signales

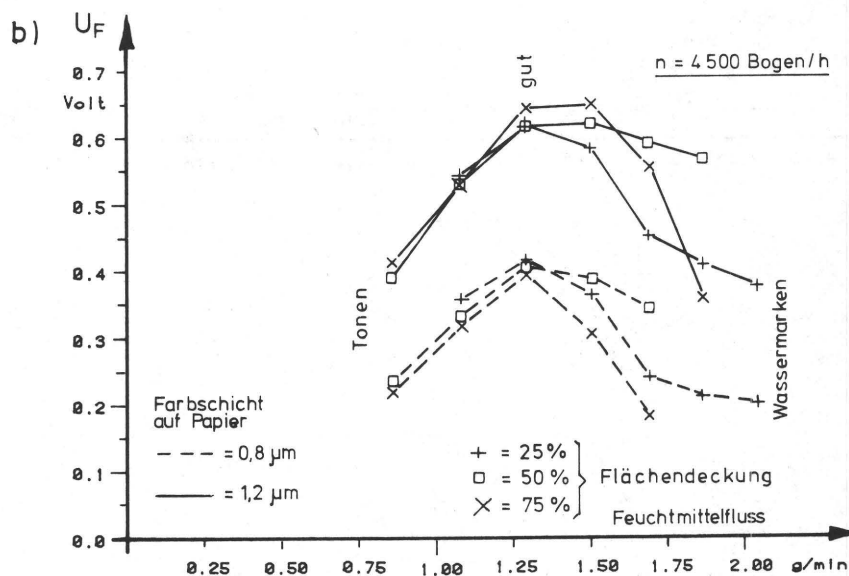
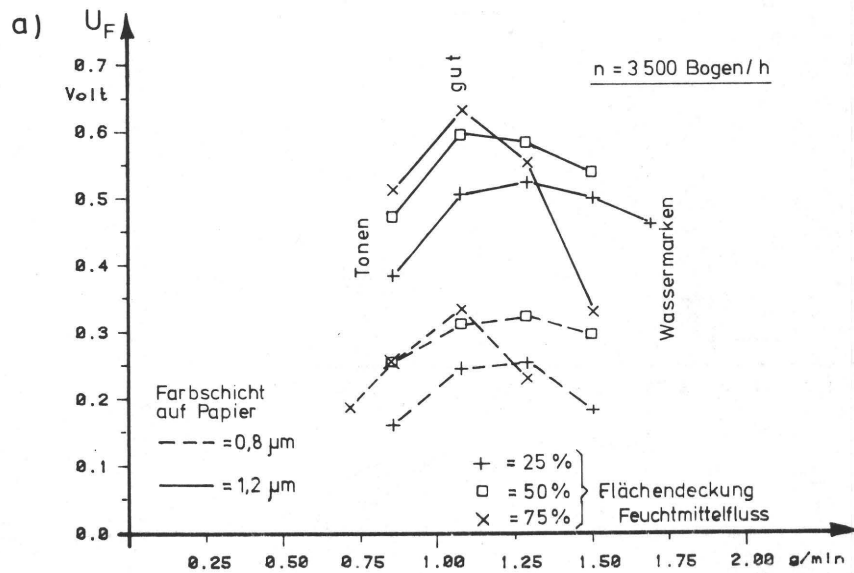


Abb. 4.9 Mikrophonspannung  $U_F$  in Abhängigkeit der pro Zeiteinheit zugeführten Feuchtmittelmenge

a) bei 3500 Bogen/h

b) bei 4500 Bogen/h



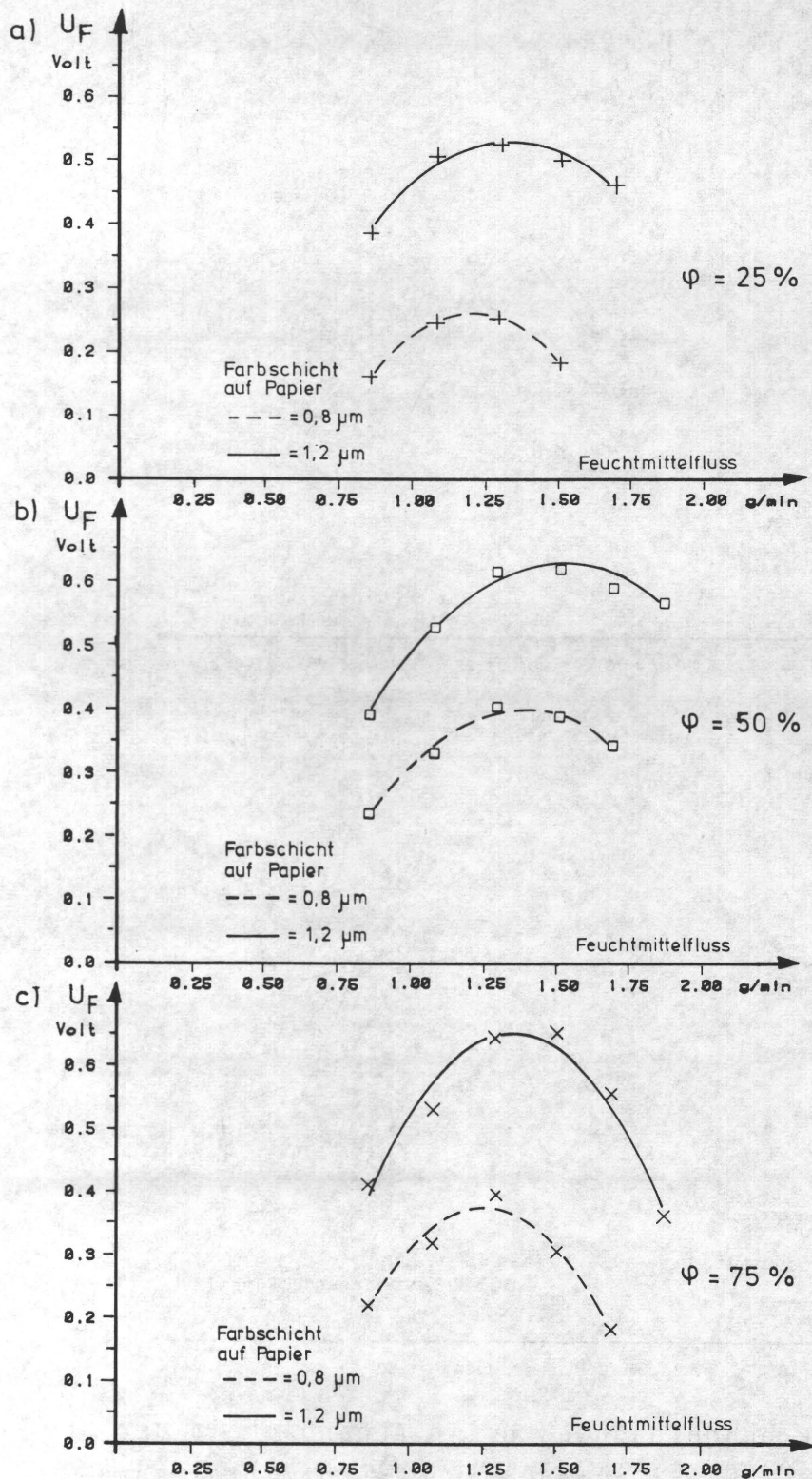


Abb. 4.10 Mikrophonspannung  $U_F$  in Abhängigkeit der pro Zeiteinheit zugeführten Feuchtmittelmenge mit Parabeln 2. Ordnung angenähert für 3500 Bogen/h

a) bei 25% Flächendeckung im Druck  
 b) " 50% " " "  
 c) " 75% " " "

durch die dadurch entstehende Erleichterung der Farbspaltung verursacht.

Die Meßpunkte des Signales von  $M_F$  lassen sich am besten mit einer quadratischen Parabel annähern (Abb. 4.10 a, b, c). Als Gütekriterium für die Kurvenanpassung kann z. B. die mittlere quadratische Abweichung  $q$  der Meßpunkte von der Ausgleichskurve herangezogen werden

$$q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(U_i - \tilde{U}_i)^2} \quad (4.6)$$

mit  $\tilde{U}_i$  = gerechnete Werte

$U_i$  = Meßwerte

$N$  = Anzahl der Meßpunkte

Die Abweichung liegt hier besser als  $10^{-2}$  v.

#### 4.4 Einfluß des Farbflusses bzw. des Flächendeckungsgrades

Der Flächendeckungsgrad auf der Druckform bestimmt die Farbabnahme und somit den Farbfluß im Farbwerk.

Nach /1/ stellt sich bei geringem Flächendeckungsgrad ein hohes Farbschichtenniveau im Farbwerk ein. Dies zeigen auch die Abb. 4.7 a und b, da hier bei einem Flächendeckungsgrad von 25% die entsprechenden Kurven für das Signal  $U_W$  jeweils deutlich über den Kurven für höhere Flächendeckungsgrade liegen.

Neben einem höheren Gesamtschichtdickenniveau /1/ muß aber bei gleicher Feuchtmittelzugabe auch eine geringere Konzentration des Feuchtmittels an der Meßstelle vorliegen, denn über den erhöhten Flächenanteil der nichtdruckenden Stellen der Druckplatte wird eine größere Menge an Feuchtmittel in Richtung Bedruckstoff abgeführt. Wenn nämlich lediglich ein höheres Gesamtschichtdickenniveau vorliegen würde, müßten auch die Kurven des Signales von  $M_F$  eine deutliche Erhöhung aufweisen. Die Kurvenverläufe für  $M_F$  zeigen aber insgesamt keine ausgeprägte Abhängigkeit vom Flächendeckungsgrad.

#### 4.5 Einfluß der Eigenschaften der Farbe

Zur Untersuchung des Einflusses dieses Parameters wurden, um wiederum die Abhängigkeit des Schallsignales von der lokalen Farbschichtdicke auszuschalten, die Messungen auf dem Zweiwalzenstuhl durchgeführt. Dort bleibt die Farbschichtdicke auf jeden Fall konstant.

Bei Newtonschen Flüssigkeiten ist die Viskosität  $\eta$  bei konstanter Temperatur unabhängig von der Schergeschwindigkeit und der Zeit. Druckfarben dagegen zeigen ein rheologisches Verhalten, bei dem eine ausgeprägte Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit und dem Verlauf und der Dauer der vorangegangenen Scherung vorliegt /68/. Man bezeichnet das Verhalten der Farben im allgemeinen als strukturviskos oder thixotrop /18/. Der Versuch, deshalb anstelle von Druckfarben eine hochviskose Newtonsche Flüssigkeit ("Eichöl"



mit  $\eta = 17,7 \text{ Pas}$ ) zu benutzen, schlug fehl, da die Flüssigkeit beim Trennprozeß regelrecht zerstäubt wurde (s. "Ink Flying" bei /18/). Bei den benutzten Druckfarben trat das Zerstäuben nicht auf, obwohl z.B. die Farbe I ungefähr die gleiche Viskosität wie das Eichöl hatte. Dies kann nur auf die unterschiedliche innere Struktur zurückgeführt werden.

Auf dem Zweiwalzenstuhl wurden nun vier verschiedene Druckfarben getestet. Als Vergleichskriterium wurde die auf einem Kegel-Platten-Viskosimeter gemessene Viskosität bei Raumtemperatur und einer Schergeschwindigkeit von  $300 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$  ( $\cong 15 \frac{\text{Umdr}}{\text{min}}$ ) gewählt.

Die vier Farben, nach ihrer Viskosität geordnet, waren:

Nr. in Abb.	Farbe	Viskosität bei $300 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ in Pas
IV	Andruck Magenta (Spezialanreibung) mit 25 % Pigment ohne "Trockenstoff"	80
III	Andruck Magenta (handelsüblich)	42
II	Versuchsfarbe für Druckversuche	33,5
I	Farbe III mit 10 % "Druckgel" vermischt	18

Tab. 4.2

Abb. 4.11 zeigt die gemessenen Schallpegel in Abhängigkeit der Viskosität bei einer Schichtdicke von ca.  $8 \mu\text{m}$  und einer Zustellung der Walzen von  $z = 0,2 \text{ mm}$ . Die Abstufung der dargestellten Werte gilt qualitativ gleichermaßen für andere gemessene Zustellungen und Farbschichtdicken.

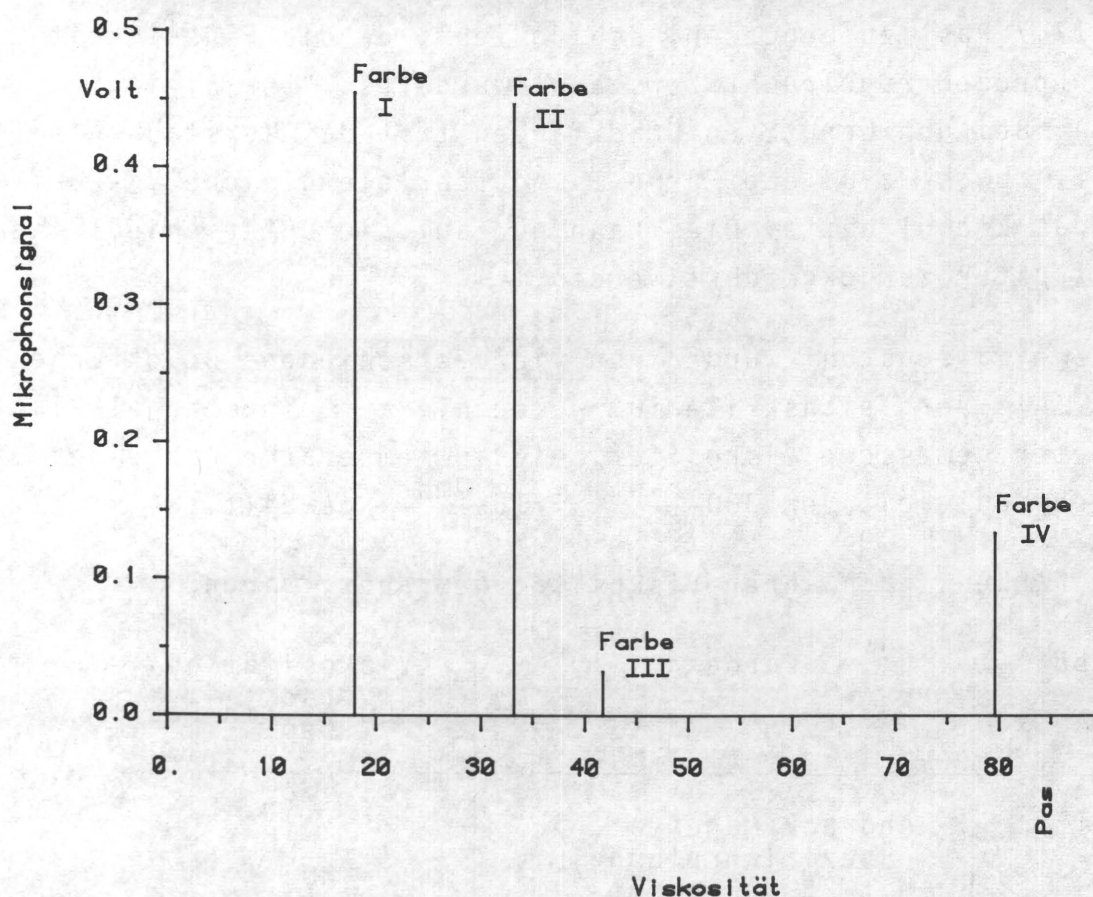


Abb. 4.11 Abhängigkeit des Mikrophonsignales von der Viskosität der Druckfarben I bis IV

Durch die Walkarbeit, die gänzlich in Wärme umgesetzt wird, lag die Temperatur der Walzenoberfläche nebst Farbe bei ca.  $28^{\circ}$  bis  $30^{\circ}$  C. Diese Temperatur wurde berührungslos kontrolliert. Vor jeder akustischen Messung wurde abgewartet, bis sich wegen der Wärmeabfuhr durch Konvektion ein Temperaturgleichgewicht eingestellt hatte.

Tendenziell weisen die für den Versuch benutzten Farben I bis IV mit niedriger Viskosität einen höheren Geräuschpegel auf. Besonders kraß zeigt dies der Vergleich der Meßwerte der Farben I und III, wobei die Testfarbe I durch "Geschmeidigmachen" der Farbe III entstand.

Dieser Befund widerspricht den theoretischen Erwartungen. 1874 hat Stefan eine in /16/, /17/ und /18/ zitierte Spaltungsgleichung

$$F = \frac{3}{4} \cdot \frac{A \cdot \eta}{t \cdot h^2} \sim \frac{\eta}{t} \quad (4.7)$$

veröffentlicht, in welcher

F = Trennkraft

A = Trennfläche

h = Ausgangsschichthöhe

t = Trennzeit

ist.

Mit der Annahme, daß die Trennzeit umgekehrt proportional zur Druckgeschwindigkeit  $v$  sei, gilt also

$$F \sim \eta \cdot v \quad (4.8)$$

Da die Druckgeschwindigkeit  $v$  bei einer gegebenen Druckmaschine proportional zur Drehzahl  $n$  ist, gilt gleichfalls

$$F \sim \eta \cdot n \quad (4.9)$$

Daraus folgt, daß der Einfluß der Viskosität gleichsinnig zum Einfluß der Druckgeschwindigkeit bzw. Maschinendrehzahl sein müßte, wie es auch durch den bei /9/ gefundenen gleichsinnigen Einfluß auf die Anzahl der Farbfäden bestätigt wird. Insbesondere wird die gleichsinnige Wirkung von Viskosität und Druckgeschwindigkeit durch Rupfversuche /69/, /70/ mit Druckfarben bestätigt.

Die Abweichung der Druckfarben I bis IV von der erwarteten Verhaltensweise tritt deshalb auf, weil diese Farben nicht homolog sind, also jeweils eine andere Zusammensetzung aufweisen.

Das "Geschmeidigmachen" der Farbe III zur Farbe I wurde beispielsweise durch Beimengen eines Druckgels zur Farbe III erreicht, welches niedrigviskose, niedrigsiedende Bestandteile mit relativ niedrigem Dampfdruck enthält. Wenn aber Flüssigkeitskomponenten mit niedrigem Dampfdruck vorhanden sind, werden die geräuscherzeugenden Kavitationserscheinungen begünstigt.



Es gilt also

- bei homologen Flüssigkeiten, d.h. hier homologen Druckfarben, ist mit steigender Viskosität ein Anstieg des Ultraschallsignales zu erwarten
- bei nichthomologen Farben gibt eine unterschiedliche Viskosität keinen zwingenden Hinweis auf die Verhaltensweise des Ultraschallsignales. In der Regel muß jedoch damit gerechnet werden, daß niedrigviskose Farben wegen der zur Viskositätsverringeringung benutzten Flüssigkeiten niedrigeren Dampfdruckes ein höheres Ultraschallsignal erzeugen.

(Die dargelegten Zusammenhänge bieten auch eine Erklärung für die oft diskutierte Tatsache, daß zwischen der als Tack-Wert gemessenen Zügigkeit und der Viskosität keine eindeutige Korrelation gefunden werden kann).

#### 4.6 Einfluß der Zustellung der Walzen

Auch dieser Parameter wurde, da er in der Druckmaschine nur sehr schwierig zu erfassen ist, mit Hilfe des Zweiwalzenstuhles untersucht. Beim Zweiwalzenstuhl wird eine Stahlwalze gegen eine mit einem elastomeren Belag bezogene Modellfarbwerkswalze angestellt. Die Abhängigkeit des Schallsignales von der Zustellung kann Abb. 4.4 bzw. Abb. 4.12 entnommen werden. Grundsätzlich steigt das gemessene Schallsignal mit der Zustellung an.

Durch die zunehmende Verformung der viskoelastischen Walze wird der Relaxationsvorgang am Walzenspaltauslauf mit einer höheren Anfangsgeschwindigkeit verlaufen. Dies führt zu einer erhöhten Trenngeschwindigkeit für die Farbschicht und somit nach Kap. 4.2 zu einer Erhöhung des Schallsignales.

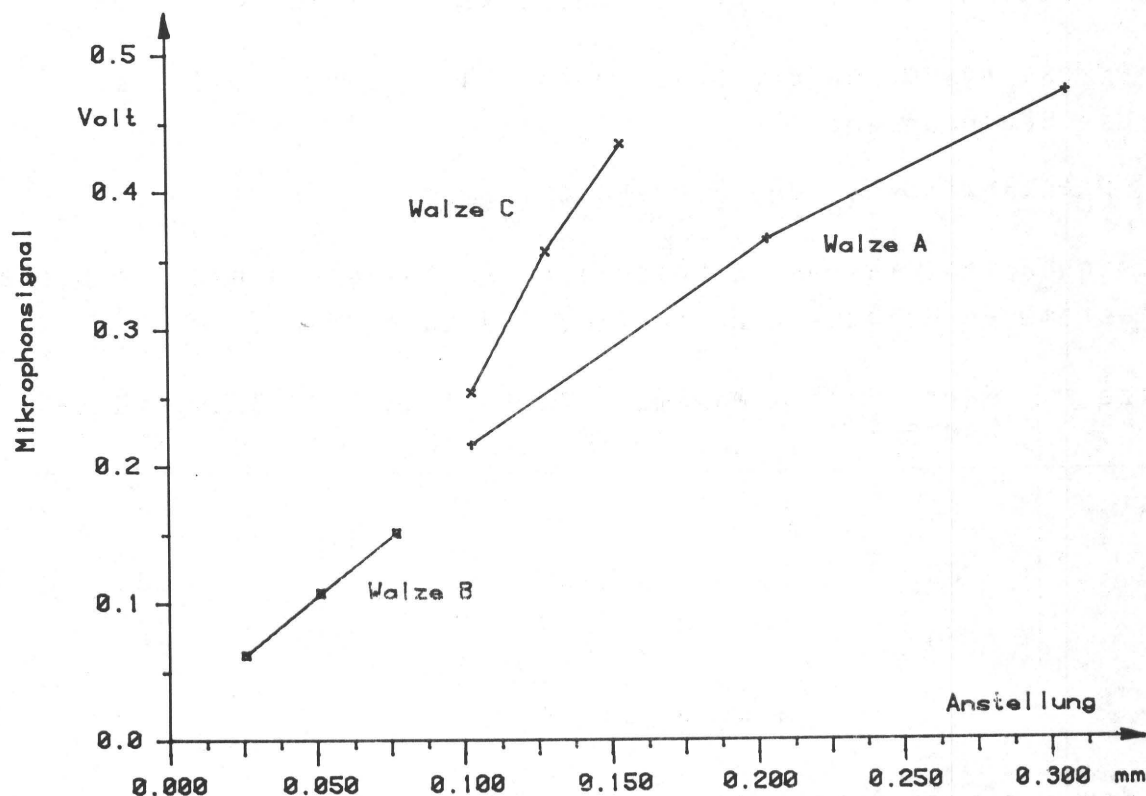


Abb. 4.12 Abhängigkeit des Mikrophonsignales von der Anstellung zwischen den Walzen des Zweiwalzensystemes

#### 4.7 Einfluß des Walzenmaterials

Da dieser Parameter nicht in der Druckmaschine verändert werden kann, wurde auch hier auf Testwalzen am Zweiwalzenstuhl ausgewichen. Um vergleichbare akustische Meßergebnisse zu erhalten, muß die geometrische Anordnung Mikrophon - Schallquelle konstant sein. Daher müssen alle Versuchswalzen gleichen Durchmesser haben. Es standen drei elastomer bezogene Walzen gleichen Durchmessers (80 mm) zur Verfügung. Mit zunehmender Anstellung wächst das viskoelastische Moment (s. /6/, /62/) des Walzenbezuges je nach Materialeigenschaft unterschiedlich schnell an. Da die Grenzlast des Meßwertgebers zur Messung des Antriebsmomentes im Zweiwalzen-

stuhl maximal 400 Nmm beträgt, können die Zustellungen nur bis zu einem entsprechenden Grenzwert gesteigert werden, der auch von der Drehzahl und der Farbschichtdicke abhängt.

Für die Messung, deren Ergebnis in Abb. 4.12 dargestellt ist, waren die Bedingungen:

Drehzahl  $15 \frac{1}{\text{sec}}$  und Farbschicht  $8 \mu\text{m}$ .

Die Walzenhärten, maximal erreichbaren Zustellungen und die Dicke des elastomeren Bezuges sind in Tab. 4.3 aufgeführt:

Walze	Härte Shore A	maximale Zustellung z mm	Bezugstärke mm
A	60	0,3	20
B	60	0,075	20
C	50	0,175	15

Tab. 4.3

Trotz der geringen Anzahl der untersuchten Testwalzen kann jedoch geschlossen werden, daß die relative Verformung, die bei gleicher Zustellung bei Walze C aufgrund der niedrigeren Belagstärke größer ist als bei A und B, das höhere Ultraschallsignal hervorruft, da wiederum eine schnellere Relaxation am Walzenspaltausgang auftritt. Die unterschiedlichen Verformungseigenschaften, die bei den Walzen A und B trotz gleicher Härte zu den extrem unterschiedlichen Grenzzustellungen führen, scheinen, da die Kurven nahezu ineinander übergehen, keinen Einfluß auf das Ultraschallsignal zu haben. (Die Liniendruckkräfte zwischen den Walzen sind ohne Farbe bei gleicher Anstellung und Drehzahl bei Walze B ca. zweimal so groß wie bei Walze A und das viskoelastische Moment ist ca. neunmal größer.)

#### 4.8 Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse der Druckversuche

Zusammenfassend lassen sich die wichtigsten Ergebnisse in vier



qualitativen Diagrammen darstellen (Abb. 4.13 a, b, c und d). Man sieht, daß die Schallsignale von  $M_F$  und  $M_W$  bei konstanter Geschwindigkeit und konstanter Feuchtung mit Zunahme der Farbschichtdicke in erster Näherung innerhalb eines drucktechnisch relevanten Bereiches linear steigen (Abb. 4.13 a und c).

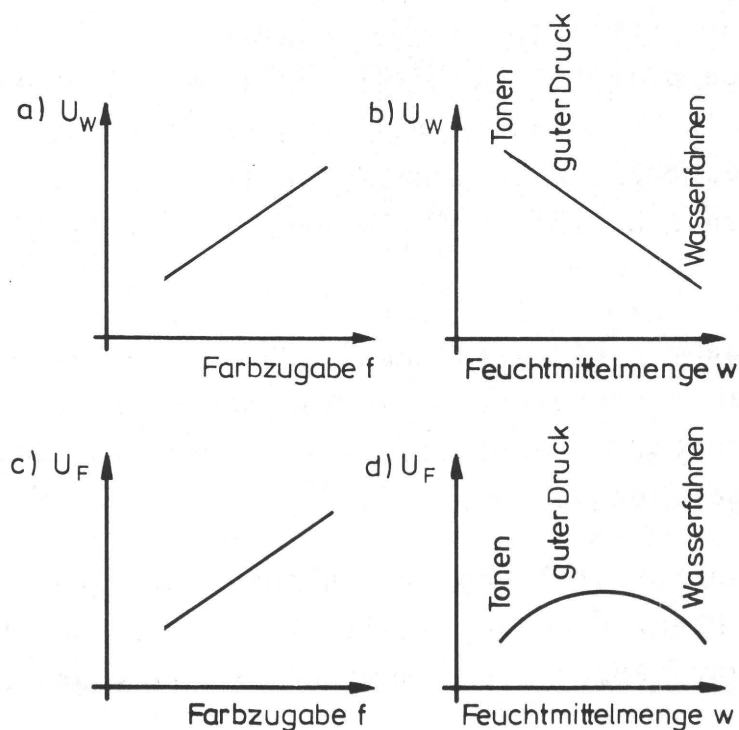


Abb. 4.13 Ergebnisse der Untersuchungen in qualitativen Diagrammen

Der Abfall des Schallsignales von  $M_W$  mit zunehmender Feuchtung bei konstanter Farbduktorstreifenbreite und Drehzahl wird auch ausreichend genau durch eine Gerade beschrieben (Abb. 4.13 b). Den interessantesten Verlauf zeigt das Signal  $U_F$  des Mikrophons  $M_F$  in Abhängigkeit von der Feuchtmittelzugabe.

Im Bereich niedriger Feuchtung steigt die Kurve mit zunehmender Feuchtmittelmenge zunächst an. Es ist anzunehmen, daß in diesem Betriebszustand an dieser Stelle des Farbwerkes kein Feuchtmittel

vorhanden, oder die Menge sehr gering ist. Damit hängt das Signal im wesentlichen nur von der Farbschichtdicke an dieser Stelle ab. Die Farbschichtdicke muß dort aber bei Zugabe von mehr Feuchtmittel ansteigen, da das Feuchtmittel durch Behinderung des Farbtransportes einen "Farbstau" im Farbwerk hervorruft /1/.

Der Bereich des störungsfreien Druckes ist im Bereich vor und bis zum Maximum der Kurve angesiedelt. Erst bei weiter gesteigerter Feuchtmittelzugabe dringt Wasser bis in die Nähe des Farbkastens zu  $M_F$  vor und beeinflusst das entstehende Schallsignal derart, daß nun der erwartungsgemäße Abfall des Signales eintritt. In diesem Bereich erscheinen schließlich "Wasserfahnen" als Störungen auf dem Druckprodukt.

Nach den bisherigen Ergebnissen können für die gemessenen Ultraschallsignale quasi Kennfelder in Abhängigkeit der relevanten Stellgrößen Farbzugabe, Feuchtmittelzugabe und Produktionsgeschwindigkeit angegeben werden.

Eine andere Art der Darstellung ist in Abb. 4.14 und 4.15 für die Beschreibung der Drehzahlabhängigkeit gewählt. In der "dreidimensionalen" Zeichnung werden die gemessenen Schallsignale zu "Gebirgen".

Auffällig ist die Verschiebung der "Wassermarkengrenze" bei höheren Geschwindigkeiten zu höheren Feuchtmittelzugaben.

Bei veränderter Farbgebung verschiebt sich lediglich die Lage der "Gebirge" in  $U_W$ - bzw.  $U_F$ -Richtung.

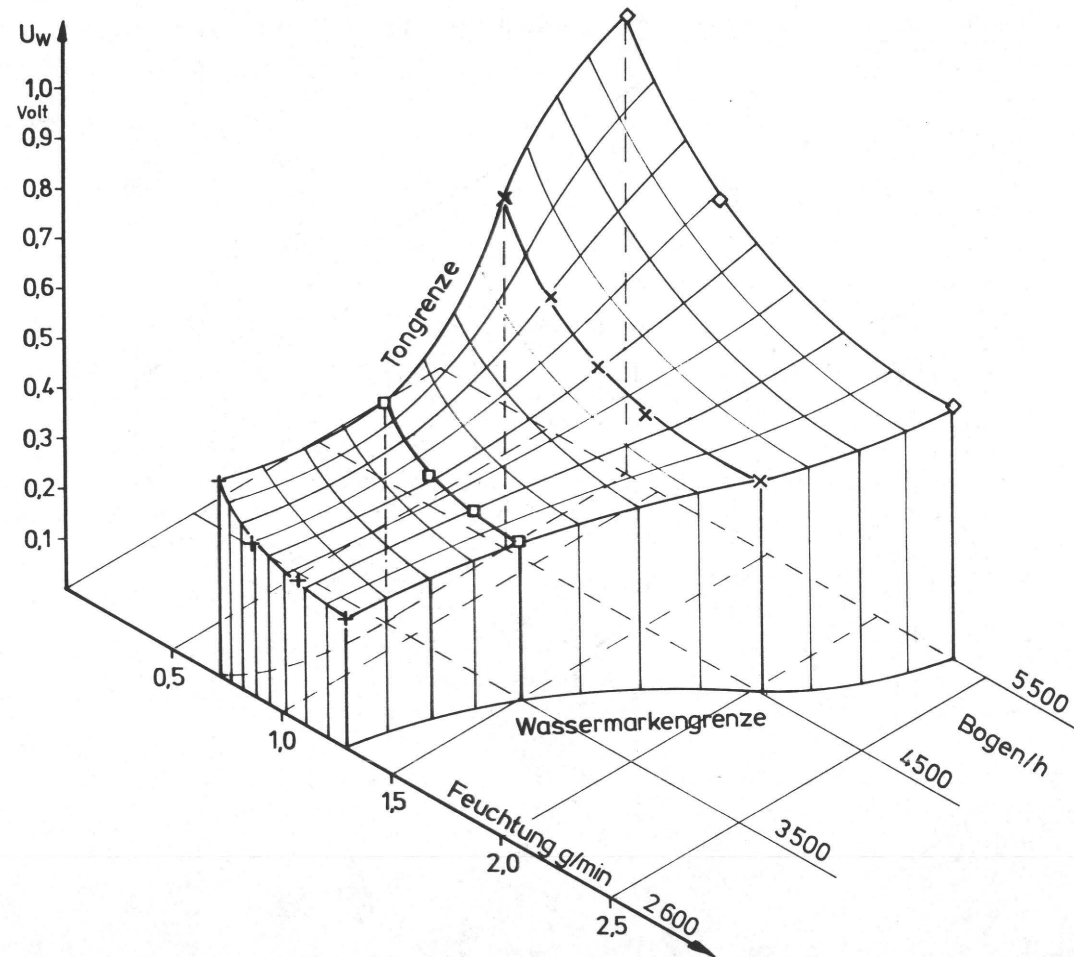


Abb. 4.14 Mikrofonspannung  $U_W$  in Abhängigkeit von der Feuchtmittelzugabe und der Drehzahl bei konstanter Farbführung



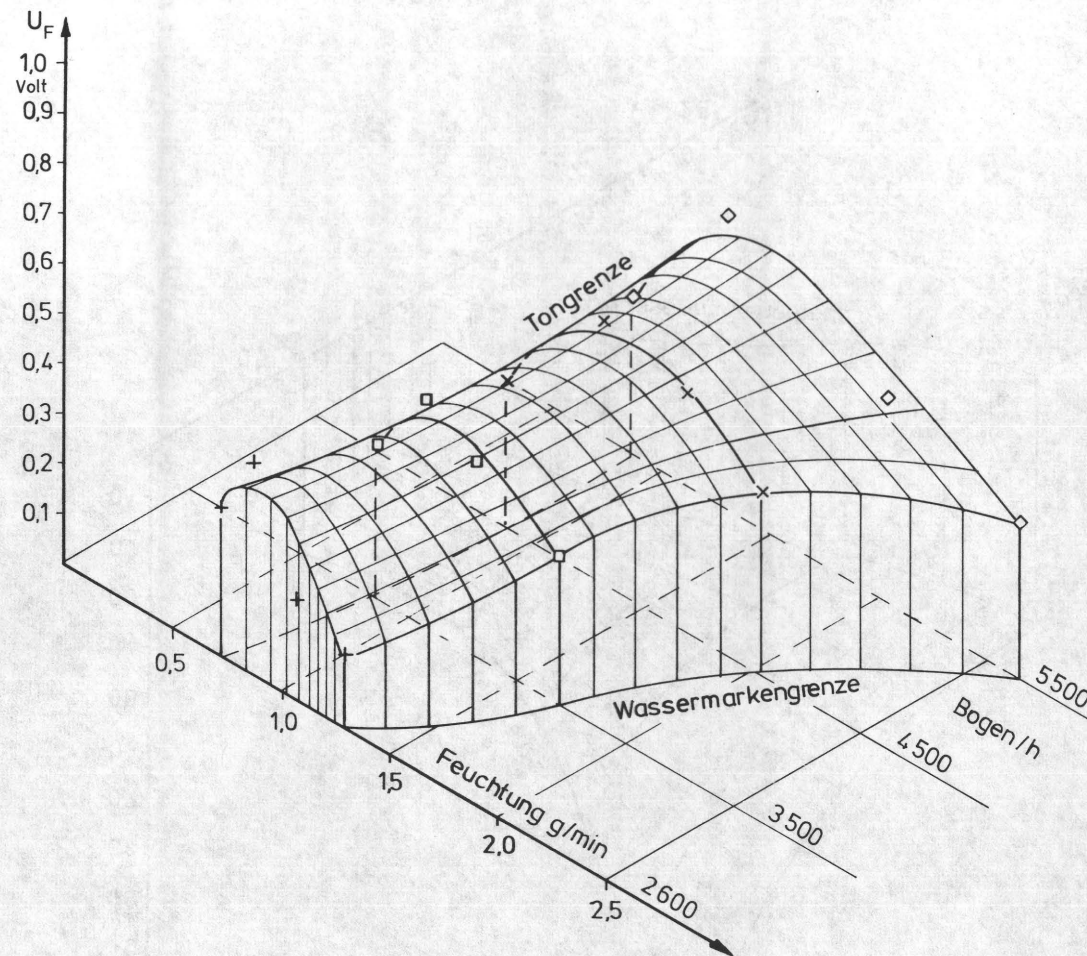


Abb. 4.15 Mikrophonespannung  $U_F$  in Abhängigkeit von der Feuchtmittelzugabe und der Drehzahl bei konstanter Farbführung

## 5. Zeitliches Verhalten der Mikrophonsignale

Bisher wurden die Mikrophonsignale nur im statischen Fall betrachtet, d.h. es wurde ein Betriebszustand (Vorgabe über die Stellgrößen der Maschine) konstant belassen und dabei ein Meßpunkt registriert. Eigentlich sollten sich in einer Druckmaschine bei konstant gehaltenen Stellgrößen (z.B. Farbduktorstreifenbreite, Feuchtwerkseinstellung, Maschinengeschwindigkeit) die Fortdruckbedingungen nicht ändern. Trotzdem ist aus der Praxis bekannt, daß Störungen wie Tönen, Wassermarken, Farbgebungsschwankungen etc. wie "aus heiterem Himmel" auftreten können. Ursächlich sind es immer Störungen des Farbe-Feuchtmittel-Haushaltes.

Im Labor lassen sich solche Störungen nicht reproduzieren. Deshalb können nur gezielt Manipulationen an den Stellgrößen in der Druckmaschine vorgenommen werden, um zu beobachten, wie sich die Mikrophonsignale verhalten. Aus den Untersuchungen, die in Kap. 3 und 4 beschrieben sind, kann geschlossen werden, daß die Absoluthöhen der Schallsignale keine relevante Information enthalten. Sie werden nämlich von zu vielen Faktoren beeinflusst, die zwar variieren können, aber die Qualität des Druckproduktes höchstens indirekt beeinflussen.

Es müssen vielmehr die Änderungen der Mikrophonsignale von  $M_W$  und  $M_F$  betrachtet werden, die die wichtige Information über die Störungen des Farbe-Feuchtmittel-Gleichgewichtes enthalten. Gemeint sind hier allerdings die langfristigen Änderungen, die über einen Zeitraum von mehreren Bögen reichen. Die Schallsignale, die nach der ersten Verarbeitung (s. Kap. 3.3) empfangen werden, sind nämlich noch von starken periodischen Störungen überlagert. Bei  $M_F$  rühren diese Schwankungen eindeutig vom Hebertakt her. Da, wie im Abschnitt 4.1 gezeigt, die Schallabstrahlung stark von der Farbschichtdicke abhängt, wird der durch den Heber aufgesetzte "Farbberg" am Spaltausgang bei  $M_F$  deutlich sichtbar. Abb. 5.1 zeigt dazu einen ca. 18 sec. langen, entsprechend 20 Bogen, Ausschnitt aus dem gemessenen Signal  $U_F$ .

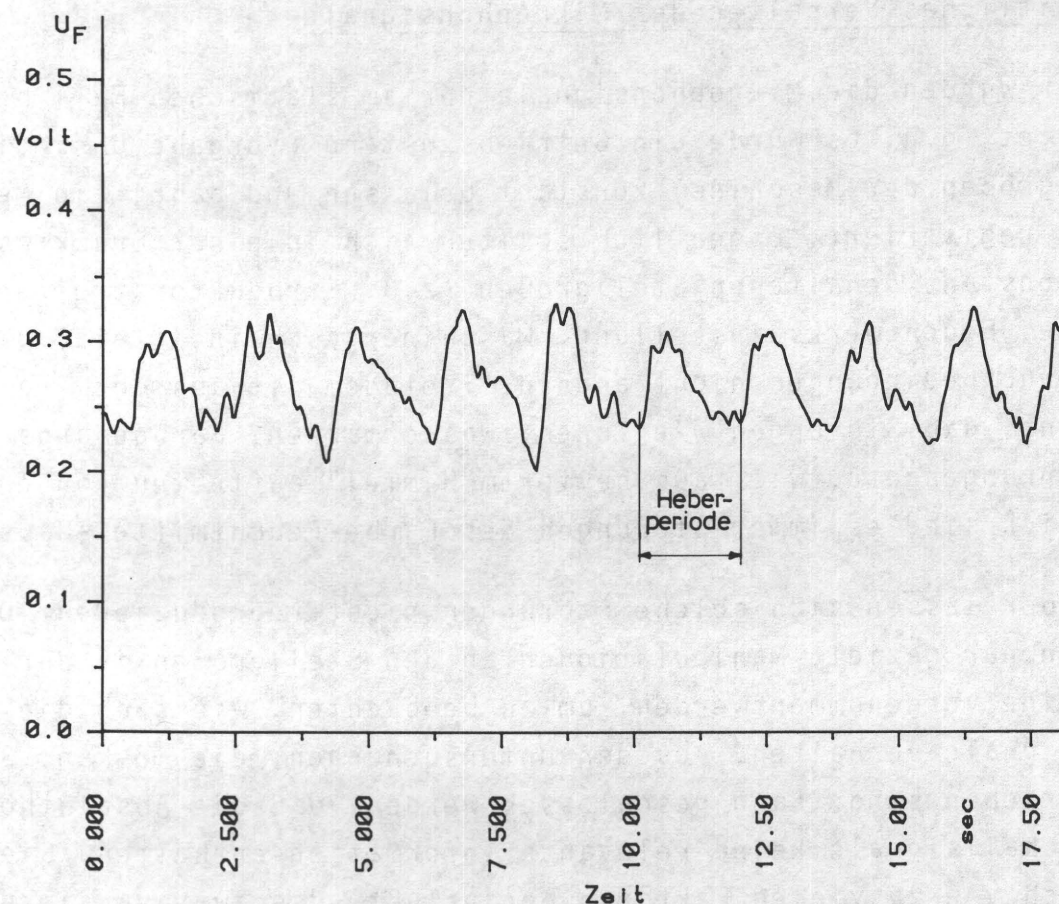


Abb. 5.1 Schallsignal des Mikrophons  $M_F$  über der Zeit bei 3500 Bogen/h

Das Verhältnis zwischen Heberperiode und Maschinendrehfrequenz beträgt bei der Versuchsmaschine 1:2.

Auch bei  $M_W$  treten periodische Störungen aus. Sie sind weniger ausgeprägt und rühren vom Kanalunterbruch in der Druckform her. Eine zweite Tiefpaßfilterung, deren Zeitkonstante in der Größenordnung des Durchlaufes von ca. 10-15 Bogen liegt, kann die störenden Signalanteile eliminieren. Bei den Versuchen zu Kap. 5.1 und 5.2 wurde diese Tiefpaßfilterung bei der Auswertung der Meßsignale mit Hilfe des digitalen Signalanalysesystems der Forschungsstätte vorgenommen.



### 5.1 Erster, erklärender Druckversuch

An einem Beispiel - ein Versuchsdruck mit einer Auflage von ca. 2200 Bogen - soll das dynamische Verhalten der empfangenen Schallsignale aufgezeigt werden. Während des Fortdruckes wurden die Stellgrößen Feuchtmittelfördermenge und Farbduktordrehwinkel einzeln variiert. Die Druckgeschwindigkeit betrug konstant 3500 Bogen/h. Die Testdruckform bestand aus einem einzigen Rasterfeld mit einem Flächendeckungsgrad von 50%.

Die Kurven in Abb. 5.2a und 5.3a zeigen die Signalverläufe nach der zweiten Tiefpaßfilterung. Abb. 5.2a gibt die Signalverläufe bei dem Teil des Versuches wieder, bei dem die Feuchtmittelfördermenge (Abb. 5.2b) variiert wurde, wobei die Farbduktorstreifenbreite konstant war. Der zweite Teil des Versuches wird durch Abb. 5.3a und b beschrieben. Dabei blieb die Feuchtmittelführung unverändert. Die Manipulationen der Stellgrößen geschahen sprunghaft und wurden an Hand des Versuchsprotokolls eingezeichnet.

Da die Absoluthöhe der Signale, wie bereits erwähnt, keine relevante Aussage enthält, wurden die einzelnen Verstärkungsfaktoren für die Mikrophonsignale frei gewählt. So kommt es, daß der Signalverlauf von  $M_W$  zufällig höher liegt als der von  $M_F$ , obwohl bei absolut gleicher Meßgeometrie bei  $M_F$  infolge höheren Schichtdickenniveaus ein höheres Signal zu erwarten wäre.

Zum besseren Verständnis der Kurven werden die einzelnen Abschnitte des Versuches in Tab. 5.1 näher erklärt.

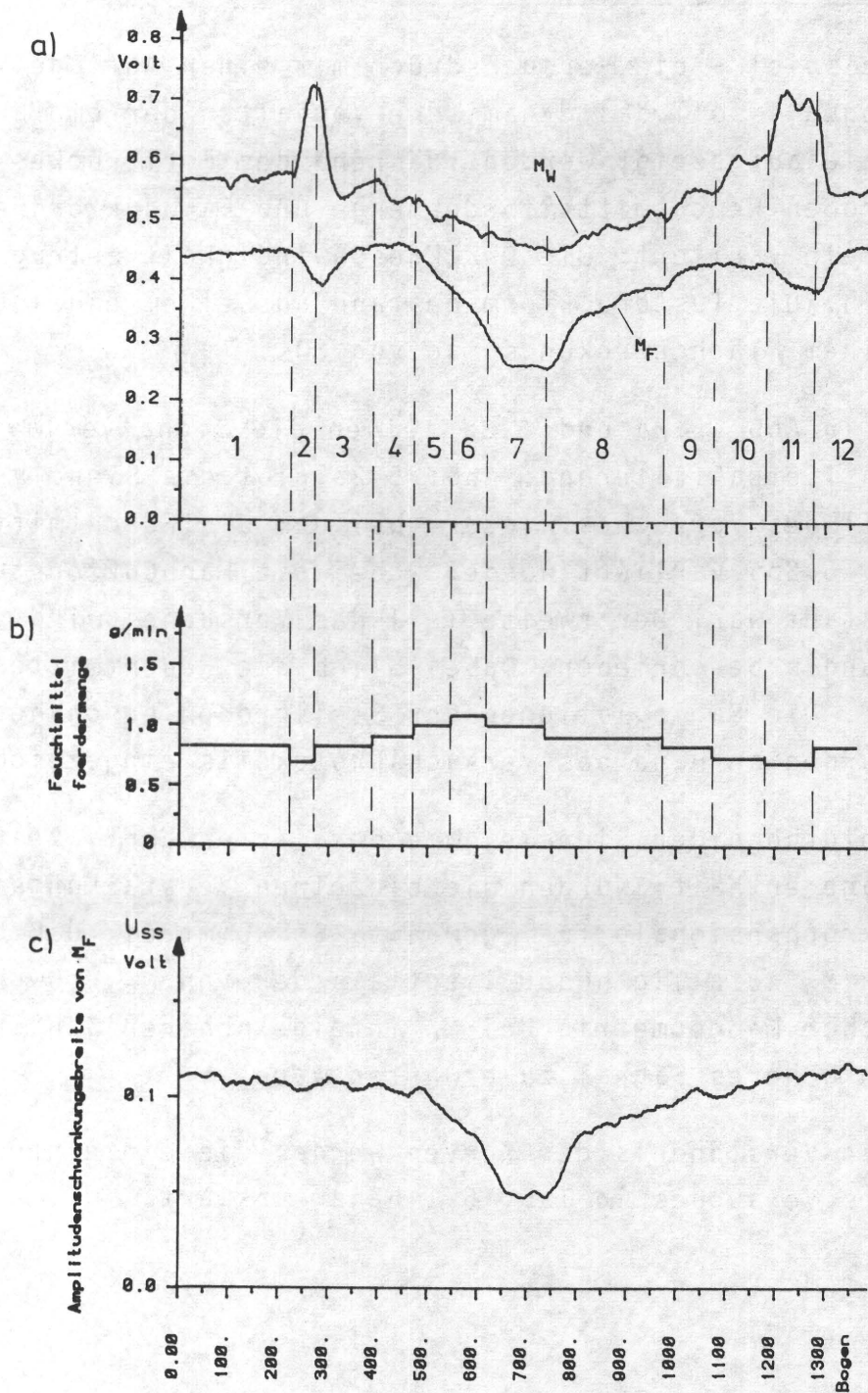


Abb. 5.2 Druckversuch mit Variation der Feuchtmittelführung bei 3500 Bogen/h  
a) Mikrophonsignale  
b) Feuchtmittelmenge/Zeit  
c) Schwankungsbreite  $U_{SS}$  von  $M_F$

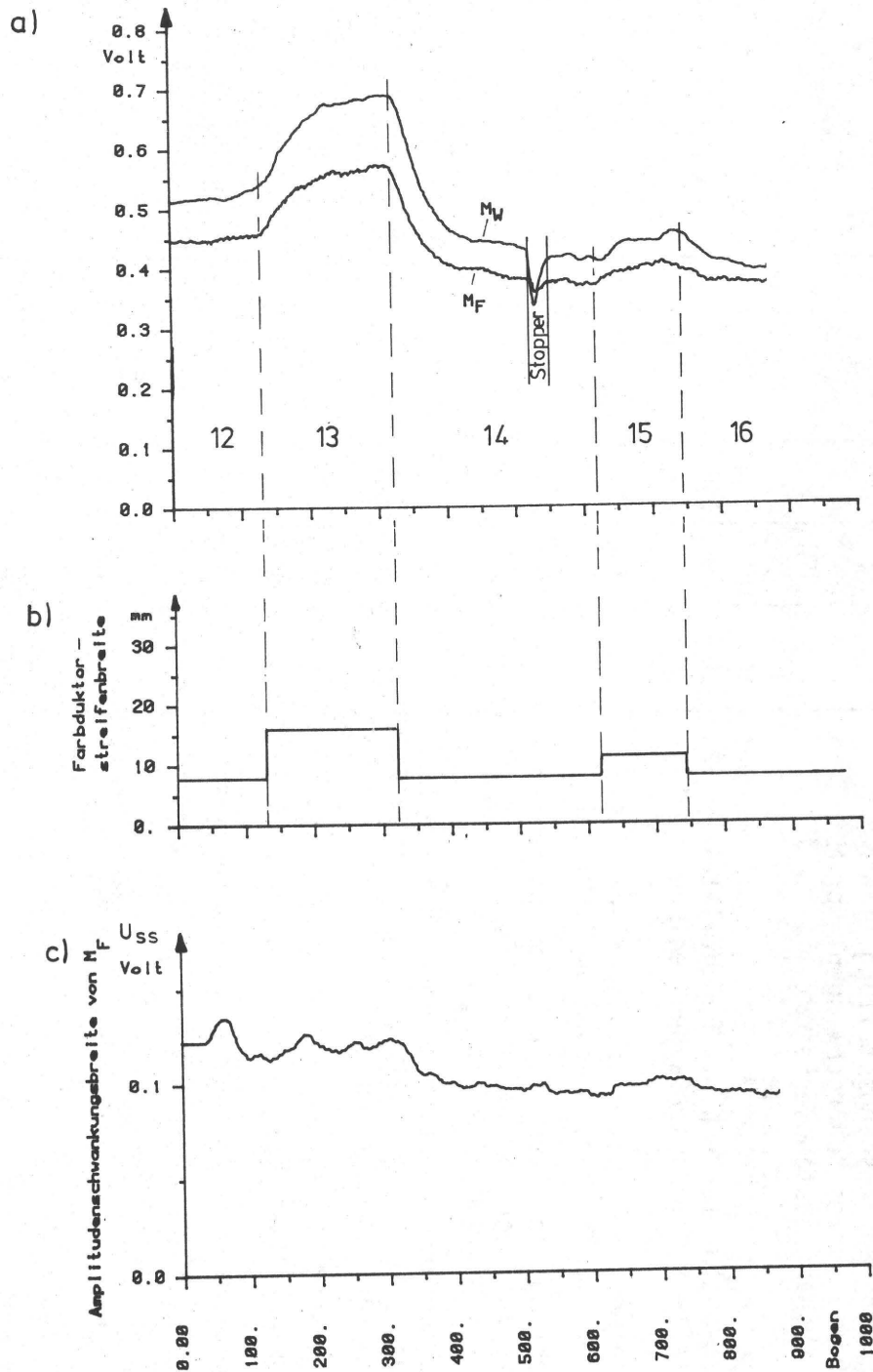















































Abb. 5.3 Druckversuch mit Variation der Farbzugabe bei 3500 Bogen/h  
a) Mikrophonsignale  
b) Feuchtmittelmenge/Zeit  
c) Schwankungsbreite  $U_{SS}$  von  $M_F$











Tab. 5.1

Bereich   Beschreibung		Veränderung der Stellgrößen zu Beginn des Bereichs				Signalverlauf $U_F$   $U_W$	
		Farb- duktor	Feuchtwerk				
			Skt von	auf			
1)	Fortdruck ohne Störung. Ausgangszustand	k	10	10	k	k	
2)	Feuchtung erniedrigt nach ca. 15 Bogen: Tonen	k	10	7			
3)	Feuchtung auf Ausgangsstellung. Tonen beendet. Kurzes "Überschwingen" von $M_W$ bis Ausgangszustand erreicht	k	7	10			
4)	Erhöhung der Feuchtung	k	10	12			
5)	Feuchtung weiter erhöht. Feuchtmittel beeinflußt $M_F$ . Wasserfahnen beginnen	k	12	14			
6)	Feuchtung noch weiter erhöht. Starke Wasserfahnenbildung. Wasser am Farbkasten	k	14	16			
7)	Feuchtung reduziert. Da Wassermenge im Farb- werk noch sehr hoch, weiteres Absinken von $U_F$ bis ein Minimum erreicht ist	k	16	14			
8)	Feuchtung reduziert. Noch kein stabiler Zu- stand erreicht, da Speicherkapazität des Farb- werks für Feuchtmittel groß	k	14	12			
9)	Feuchtwerk auf Ausgangszustand reduziert	k	12	10			
10)	Feuchtwerk reduziert. Noch kein Tonen	k	10	8,5			
11)	Feuchtwerk weiter reduziert. Tonen beginnt	k	8,5	7			
12)	Ausgangsstellung. Nach kurzer Zeit wieder störungsfreier Druck (wie 1)	k	7	10			
13)	Farbzugabe stark erhöht (weiter Abb. 5.3)		10	10	k		
14)	Farbzugabe erniedrigt (Ausgangszustand)		10	10	k		
15)	Farbzugabe erhöht		10	10	k		
16)	Farbzugabe erniedrigt (Ausgangszustand)		10	10	k		

Die Zeichen bedeuten: k = konstant ; ↗ erhöht ; ↘ erniedrigt ; ↘ fällt , ↗ steigt

Es lassen sich fünf verschiedene Fälle der Signalverläufe unterscheiden. Sie lassen sich ohne Berücksichtigung des Bereiches Nr. 7, bei dem nach Verstellen der Stellgrößen nicht gewartet wurde, bis sich ein stabiler Zustand eingestellt hatte, im Rückwärtsschluß nach Tab. 5.2 interpretieren:

Fall	Signal		Interpretation	Bereich	Doppelinterpretation	Bereich
	$M_F$	$M_W$				
1	k	k	keine Änderung stabiler Fortdruck	1)		
2			Feuchtmittelführung erhöht	3) 4) 12)		
3			Feuchtmittelführung erniedrigt	2) 9) 10) 11)		
4			Farbzugabe erhöht	13) 15)	Normalisierung nach Überfeuchtung	8)
5			Farbzufuhr erniedrigt	14) 16)	Überfeuchtung	5) 6)

Tab. 5.2

Im Fall 1 liegt keine Störung des Farbwassergleichgewichtes vor. Aus einem Vergleich der Fälle 2, 3, 4 und 5 läßt sich folgende Aussage formulieren:

- gegensinnige Signaländerung: Störungsursache ist die Feuchtmittelführung (eindeutig)
- gleichsinnige Signaländerung: Störungsursache ist die Farbführung (aber doppeldeutig)

Die Betriebszustände (Fälle 4 und 5), die zu Doppeldeutigkeiten führen, sind im Normalfall höchst selten, da der Drucker bemüht ist, mit so wenig Feuchtmittel wie möglich zu fahren, weil dabei der Druckausfall gleichmäßiger ist (s. /71/). Ganz vermeiden lassen sich diese Doppeldeutigkeiten jedoch nicht immer.

Die Doppeldeutigkeiten bei der Interpretation der Ultraschallsignale nach Tab. 5.2 lassen sich nur dann beseitigen, wenn eine weitere Information zur Verfügung steht. Die Information, die die Interpretation eindeutig macht, liegt in der "Schwankungsbreite" des Signales von  $M_F$ .

Unter der Schwankungsbreite  $U_{ss}$  soll nach Abb. 5.4 die Differenz zwischen Maximum und (relativem) Minimum des Signales während einer Heberperiode verstanden werden.

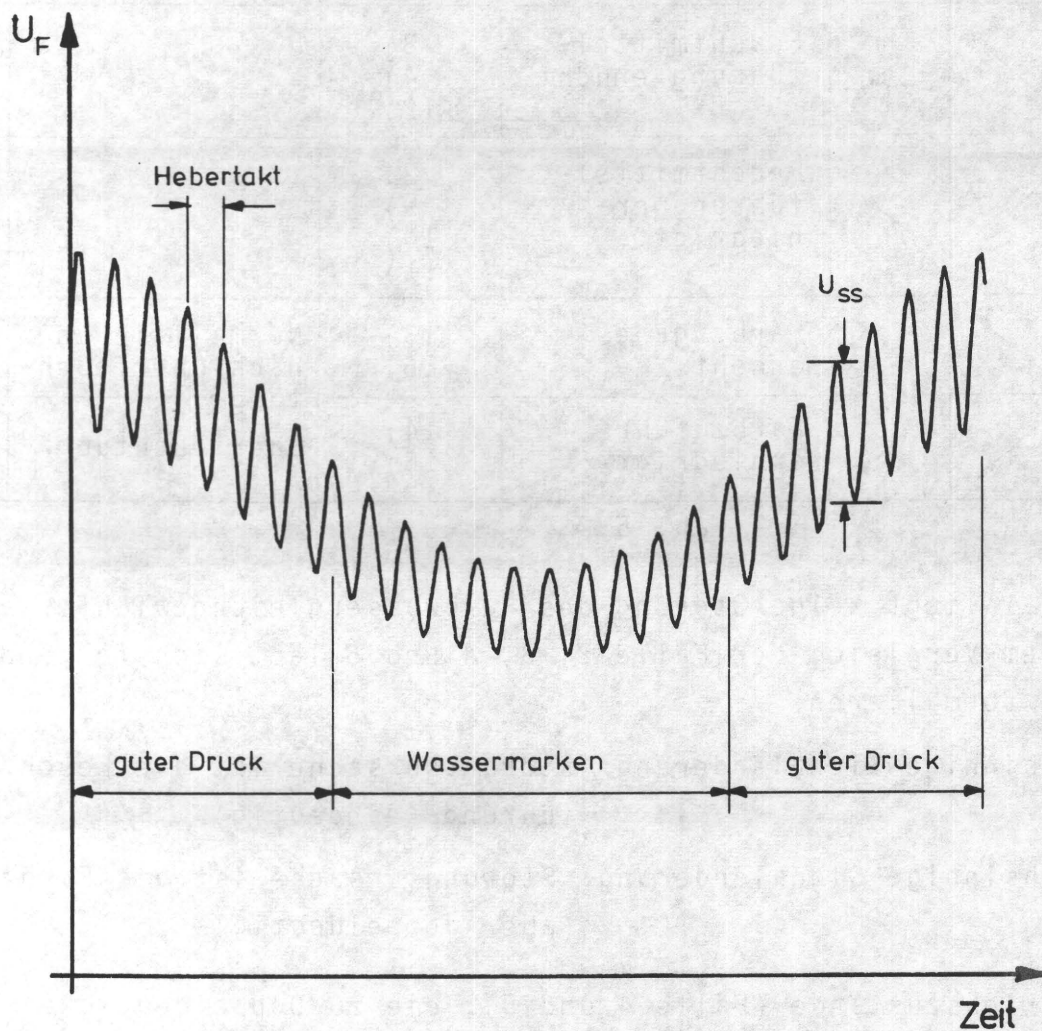


Abb. 5.4 Schwankungsbreite  $U_{ss}$

Die gemessene Schwankungsbreite  $U_{ss}$  des Signales von  $M_F$  während eines Versuches ist in Abb. 5.2c dargestellt. Sie nimmt immer dann ab, wenn ein Überfeuchten auftritt. In diesem Fall dringt



Feuchtmittel bis zum Spalt bei  $M_F$  vor und behindert die Farbübertragung des Hebers auf die erste Farbwerkswalze. Zusätzlich steigt durch erhöhte Feuchtmittelzugabe das Farbschichtdickenniveau im gesamten Farbwerk /1/, was dazu führt, daß bei gleicher Farbduktorschichtdicke das Verhältnis zwischen der vom Heber übertragenen Schicht und der Schichtdicke auf der ersten Farbwerkswalze abnimmt. Damit muß  $U_{ss}$  abnehmen. Deutlich läßt sich bei Vergleich von Abb. 5.2b und 5.2c die Korrelation von  $U_{ss}$  mit der erhöhten Feuchtmittelfördermenge feststellen. Anhand Abb. 5.3c wird aufgezeigt, daß die Schwankungsbreite des Signales  $M_F$  nicht von der Farbduktorstreifenbreite abhängt.

## 5.2 Druckversuche unter Variation des Farbflusses und der Druckgeschwindigkeit

---

Eine weitere Prozeßvariable, die erheblichen Einfluß auf das Zusammenspiel der beiden Faktoren Farbe und Feuchtmittel ausübt, ist der Farbverbrauch pro gedruckten Bogen (vgl. Kap. 4.4).

Ein geringer Flächendeckungsgrad (d.h. ein geringer Anteil druckender Flächenelemente auf der Platte) ergibt einen kleineren Farbfluß. Gleichzeitig wird mehr Feuchtmittel benötigt, um den schützenden Film auf den nichtdruckenden Stellen der Platte zu gewährleisten. Dies kann dazu führen, daß Feuchtmittel sehr weit in die Nähe des Farbkastens gelangt. Dadurch könnten entweder die vorgenannten Doppeldeutigkeiten bei der Signalinterpretation verstärkt auftreten oder das Signal an Dynamik verlieren.

Die Abb. 5.5, 5.6 und 5.7 zeigen Diagramme zu Versuchen mit Flächendeckungsgraden von 25%, 50% bzw. 75%. Die manuellen Veränderungen der Stellgrößen sind den Teilabbildungen b, c und d zu entnehmen.

Ohne Ausnahme zeigen die Mikrophonsignale das gleiche charakteristische Verhalten wie es im Abschnitt 5.1 beschrieben ist. Die Interpretationen nach Tab. 5.2 treffen auch hier bei allen Ver-

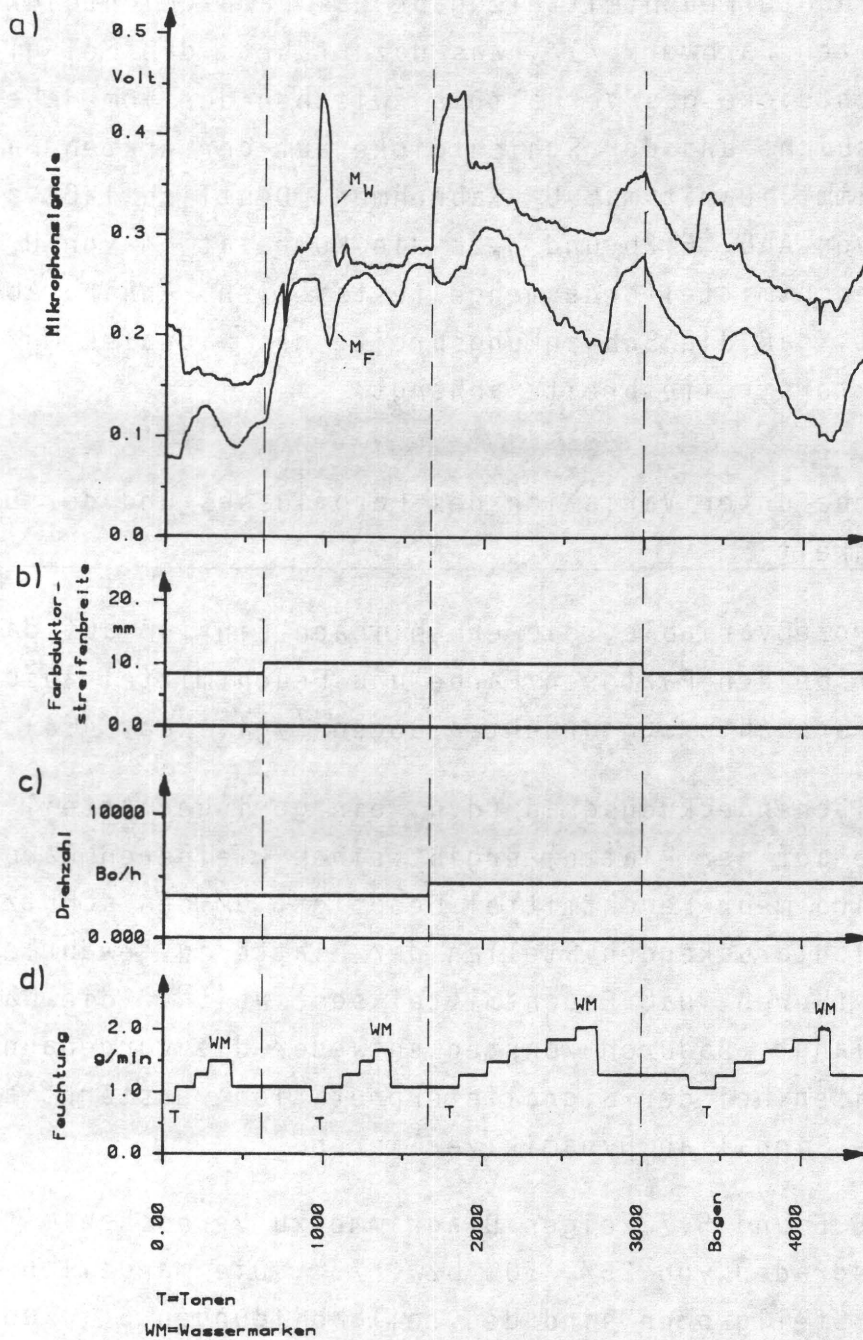


Abb. 5.5 Druckversuch mit Variation der Feuchtmittelführung, Farbführung und Druckgeschwindigkeit bei 25% Flächen-  
deckung im Druck

a) Mikrophonsignale      b) Farbduktorstreifenbreite  
c) Druckgeschwindigkeit      d) Feuchtmittelmenge/Zeit

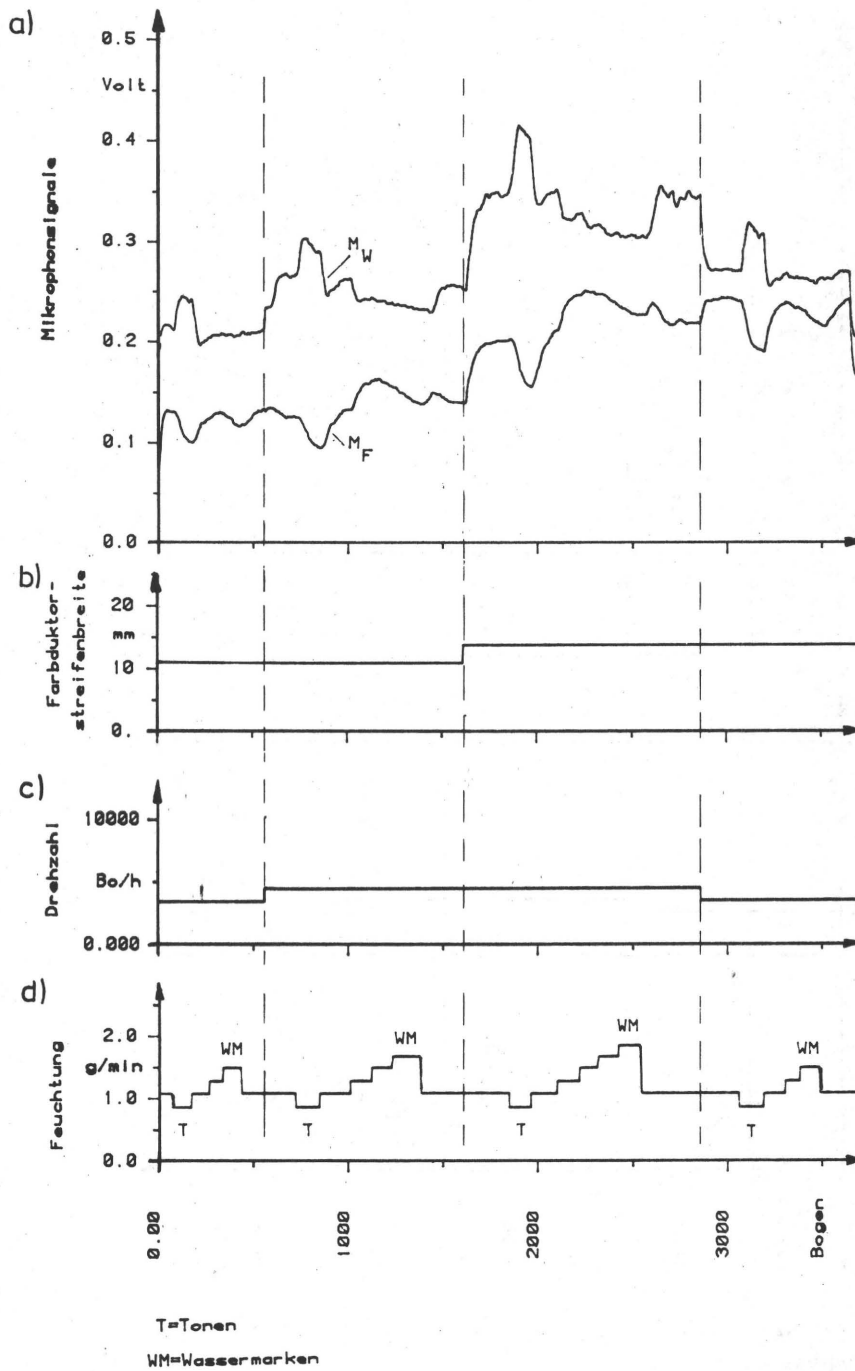


Abb. 5.6 Druckversuch mit Variation der Feuchtmittelführung, Farbführung und Druckgeschwindigkeit bei 50% Flächen-  
deckung im Druck  
a) Mikrophonsignale      b) Farbduktorstreifenbreite  
c) Druckgeschwindigkeit      d) Feuchtmittelmenge/Zeit



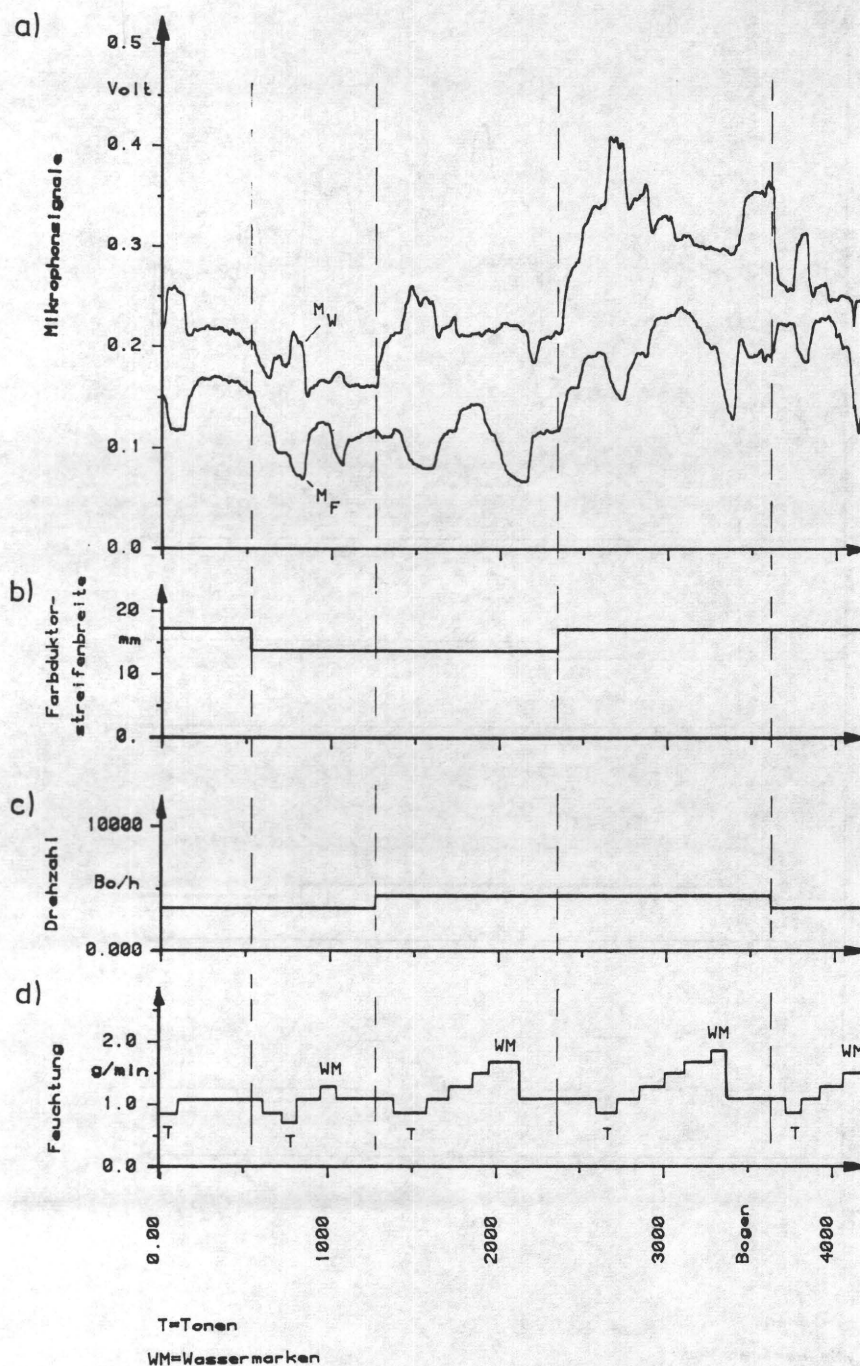


Abb. 5.7 Druckversuch mit Variation der Feuchtmittelführung, Farbführung und Druckgeschwindigkeit bei 75% Flächen-  
deckung im Druck  
a) Mikrophonsignale b) Farbduktorstreifenbreite  
c) Druckgeschwindigkeit d) Feuchtmittelmenge/Zeit

suchen zu. Bis zum "Umkehrpunkt" des Signales von  $M_F$  liegt in allen Fällen eine ausreichende Dynamik zum "Tönen" hin vor.

Zusätzlich wurde bei diesen Versuchen eine weitere Stellgröße, nämlich die Maschinengeschwindigkeit, jeweils zwischen 3500 und 4500 Bogen/h, verändert (Teilabbildungen c). Bei Erhöhung der Maschinengeschwindigkeit steigt die Farbzufuhr wegen des festen Übersetzungsverhältnisses für die Heberbewegung gleichermaßen proportional an. Das Feuchtwerk ist in diesem Fall aber nicht geschwindigkeitskompensiert. Dadurch wird das Mengenverhältnis Farbe/Feuchtmittel beeinflusst und folglich auch die Ultraschallsignale. Daher wirken sich nun zwei gegenläufige Mechanismen auf die Signale aus. Einerseits führt die Erniedrigung der Feuchtmittelmenge im Farbwerk (erhöhte Drehzahl bei gleicher Feuchtmittelzufuhr) zu einer Erniedrigung des Farbschichtdickenniveaus. Andererseits wird bei Erhöhung der Drehzahl und bei Erhöhung des Verhältnisses der Farb- zur Feuchtmittelmenge die Geräuschemission anwachsen. Der resultierende Schallpegel stellt sich entsprechend dem Gleichgewicht dieser Faktoren ein. So wird bei diesen Versuchen - im Gegensatz zu dem in Kap. 4.1 Abb. 4.2a und b beschriebenen Versuch - durch die Änderung der Maschinengeschwindigkeit das Signal  $U_W$  stärker beeinflusst als  $U_F$ . Die gleichbleibende zugeführte Feuchtmittelmenge war hier niedriger als bei Abb. 4.2.

Bei allen Versuchen taucht im Falle des Überfeuchtens wieder eine Umkehr des Signales von  $M_F$  auf (analog zu Abschn. 5.1, Tab. 5.1, Bereich 5 bis 8, bzw. Tab. 5.2, Fall 4 und 5). Gleichzeitig fällt aber die Signalschwankungsbreite  $U_{SS}$  wieder stark ab, wie die Abb. 5.8a beispielhaft für den Versuch mit 75% Flächendeckung zeigt. Dadurch bleibt die Interpretation der Signalverläufe immer eindeutig.

Es kann somit davon ausgegangen werden, daß das Verfahren zur Kontrolle des Farb-Wasser-Gleichgewichtes mit Hilfe von Ultraschall auch dann funktioniert, wenn ein kritisches Sujet gedruckt wird,

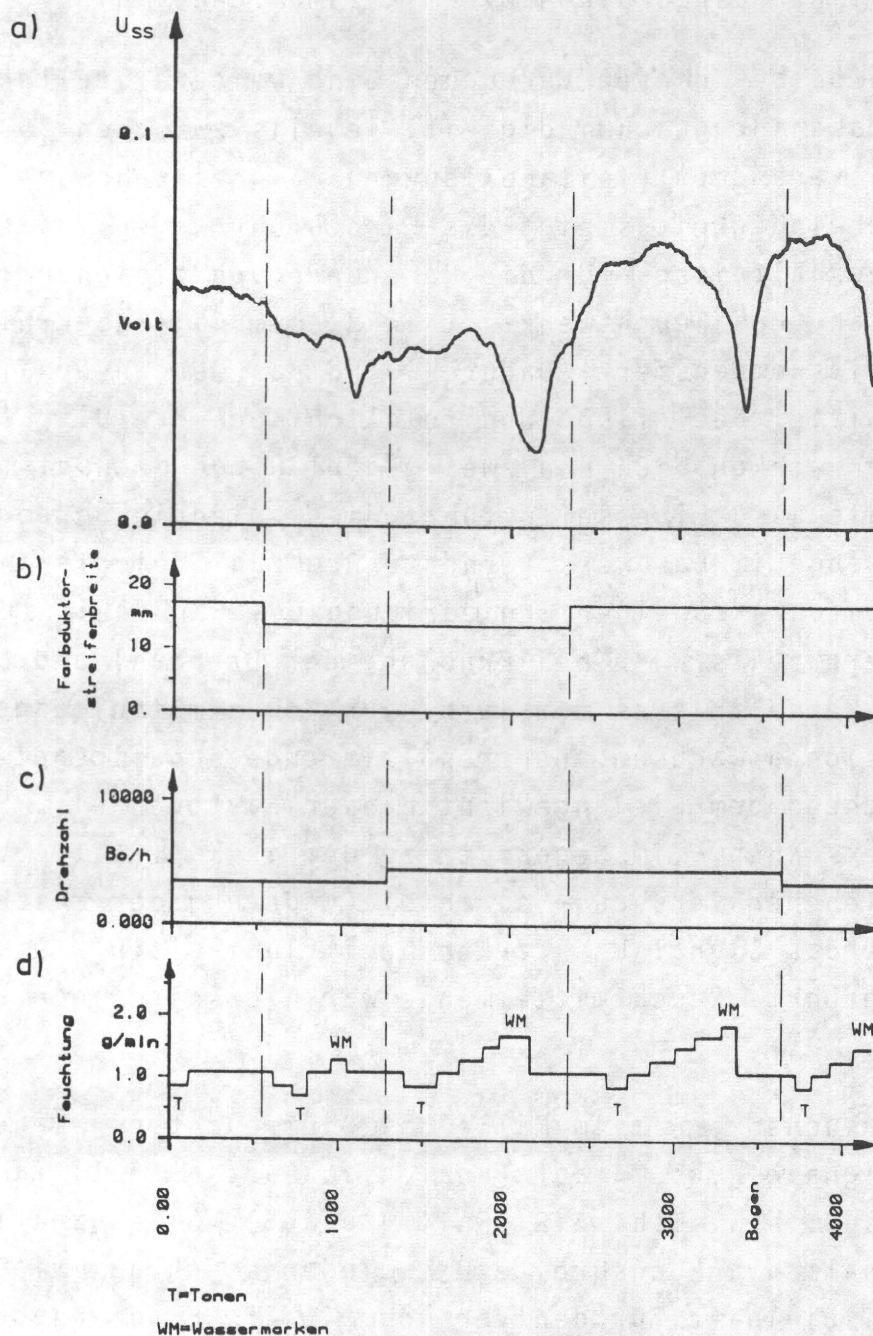


Abb. 5.8 Druckversuch mit Variation der Feuchtmittelführung, Farbführung und Druckgeschwindigkeit bei 75% Flächen-  
deckung im Druck  
a) Schwankungsbreite  $U_{ss}$  von  $M_F$  b) Farbduktorstreifenbreite  
b) Druckgeschwindigkeit c) Feuchtmittelmenge/Zeit



d.h. die Farbabnahme in axialer Richtung starke Unterschiede aufweist, während die Feuchtung über die Druckbreite gleichmäßig erfolgt.

### 5.3 Auswerteschaltung

Sollen die Sonarsignale als Kontrollgröße für den Offsetdruckprozeß dienen, müssen sie so verarbeitet werden, daß mit Hilfe einer Anzeigeeinheit eine ständige Beobachtung des Prozeßzustandes möglich ist.

Bei den vorangegangenen Versuchen wurden die Sonarsignale nach dem ersten Tiefpaßfilter  $TP_1$  (Abb. 3.14) während des Druckversuches auf ein Analogbandgerät aufgezeichnet und anschließend mit Hilfe des digitalen Signalanalysesystems ausgewertet. Das Signalanalysesystem ist aber nicht transportabel und so für Praxisversuche ungeeignet. Deshalb wurde eine einfache Auswertelektronik gebaut, die einerseits die notwendigen Abgriffe für die Analogaufzeichnung enthält, andererseits eine leicht zu interpretierende Anzeige des Prozeßzustandes ermöglicht. Das Prinzip dieser Auswertung kann anhand des Blockschaltbildes Abb. 5.9 erklärt werden.

Wie bereits erwähnt, müssen die nach dem ersten Tiefpaßfilter ( $TP_1$  aus Abb. 3.14) verbleibenden Periodizitäten der Signale durch eine zweite Tiefpaßfilterung ( $TP_2$ ) eliminiert werden, deren Zeitkonstante hier im Bereich von 10-15 sec liegt. Dabei ist aber wichtig, daß zwischen  $TP_1$  und  $TP_2$  die Information über  $U_{ss}$  abgegriffen werden kann.

Nachdem die Signale durch  $TP_2$  stark geglättet worden sind, trennt sich die weitere Auswertung in zwei Wege auf.

- 1) Bis zum Erreichen eines stationären Betriebszustandes im Druck ("gute" Fortdruckbedingungen) bietet sich an, zunächst die Änderungen der Signale zu betrachten. Wenn die störenden Heber- bzw. Kanaltaktfrequenzen durch die Filterungen eliminiert sind, kann dazu eine Differentiation der Signale erfolgen. Die Zeitkon-

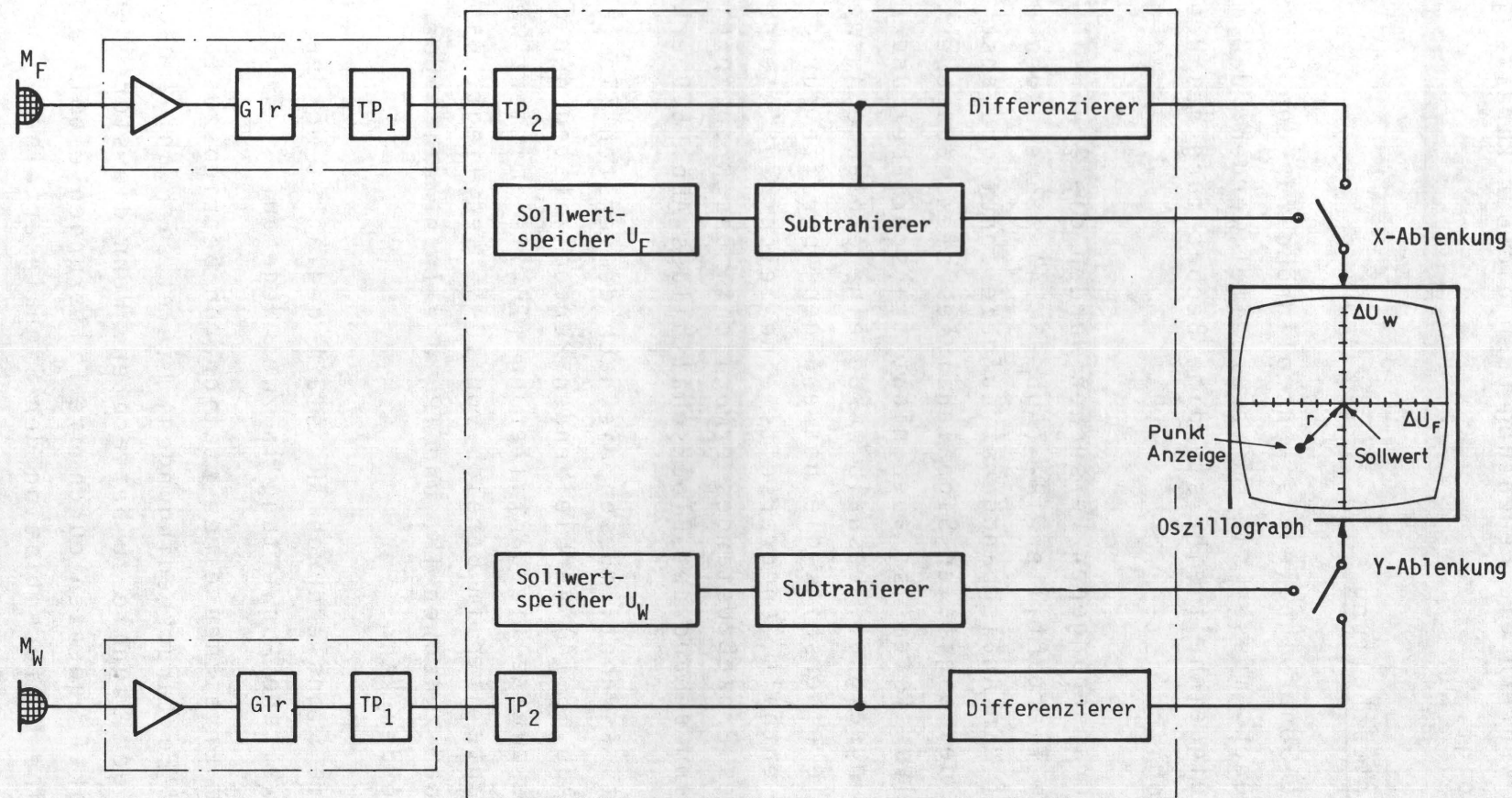


Abb. 5.9 Blockschaltbild der Auswerteschaltung

stanten der Differenzierschaltung sind so ausgelegt, daß Veränderungen des Signales erkannt werden, deren Anstiegszeiten zwischen ca. 10 und 20 sec. liegen. Wenn die Veränderungen der Signale, also  $\Delta U_F = \frac{dU_F}{dt}$  bzw.  $\Delta U_W = \frac{dU_W}{dt}$  gegen Null streben, ist der gewünschte stationäre Betriebszustand erreicht.

- 2) Nun ist es zweckmäßig, diesen Betriebszustand als Sollzustand zu betrachten und fortan die Abweichungen der Mikrophonsignale vom Sollsignal zu betrachten. (Dies wird durch die Schalter vor der Anzeigeeinheit in Abb. 5.9 symbolisiert.)

Das Speichern der Sollwerte wird durch Einstellen von Festspannungen mit Hilfe von Potentiometern gelöst. Nach jeder Veränderung von Stellgrößen an der Maschine (insbesondere der Druckgeschwindigkeit) durch den Drucker, muß der Sollwert angepaßt werden. Es sei denn, die Verstellung dient zur Wiederherstellung des Sollwertes, wenn durch eine Störgröße der Prozeß verändert wurde. Der Soll-Ist-Vergleich erfolgt durch Subtraktion der anliegenden geglätteten Mikrophonspannungen von den eingestellten Festspannungen.

Als Anzeigeeinheit bietet sich für beide Fälle ein Oszillographenschirm zur Darstellung der Soll-Ist-Abweichungen an. Gibt man die Spannungen aus dem Differenzierer oder aus der Subtraktion für  $M_F$  und  $M_W$  auf die x- bzw. y-Ablenkung eines Oszillographen mit Fadenkreuz, erhält man eine Anzeige, die sehr leicht ablesbar und schnell interpretierbar ist. Dabei wird der Oszillograph so eingestellt, daß der Sollwert im Zentrum des Fadenkreuzes liegt (bei Spannung  $\Delta U_F = 0$  und  $\Delta U_W = 0$ ).

Auf dem Bildschirm erscheint ein Punkt, dessen Abstand  $r$  vom Zentrum ein Maß für die Abweichung vom Sollwert ist. Die Lage des Punktes in den Quadranten (Abb. 5.10) stellt einen Hinweis auf die Ursache der Störung dar.



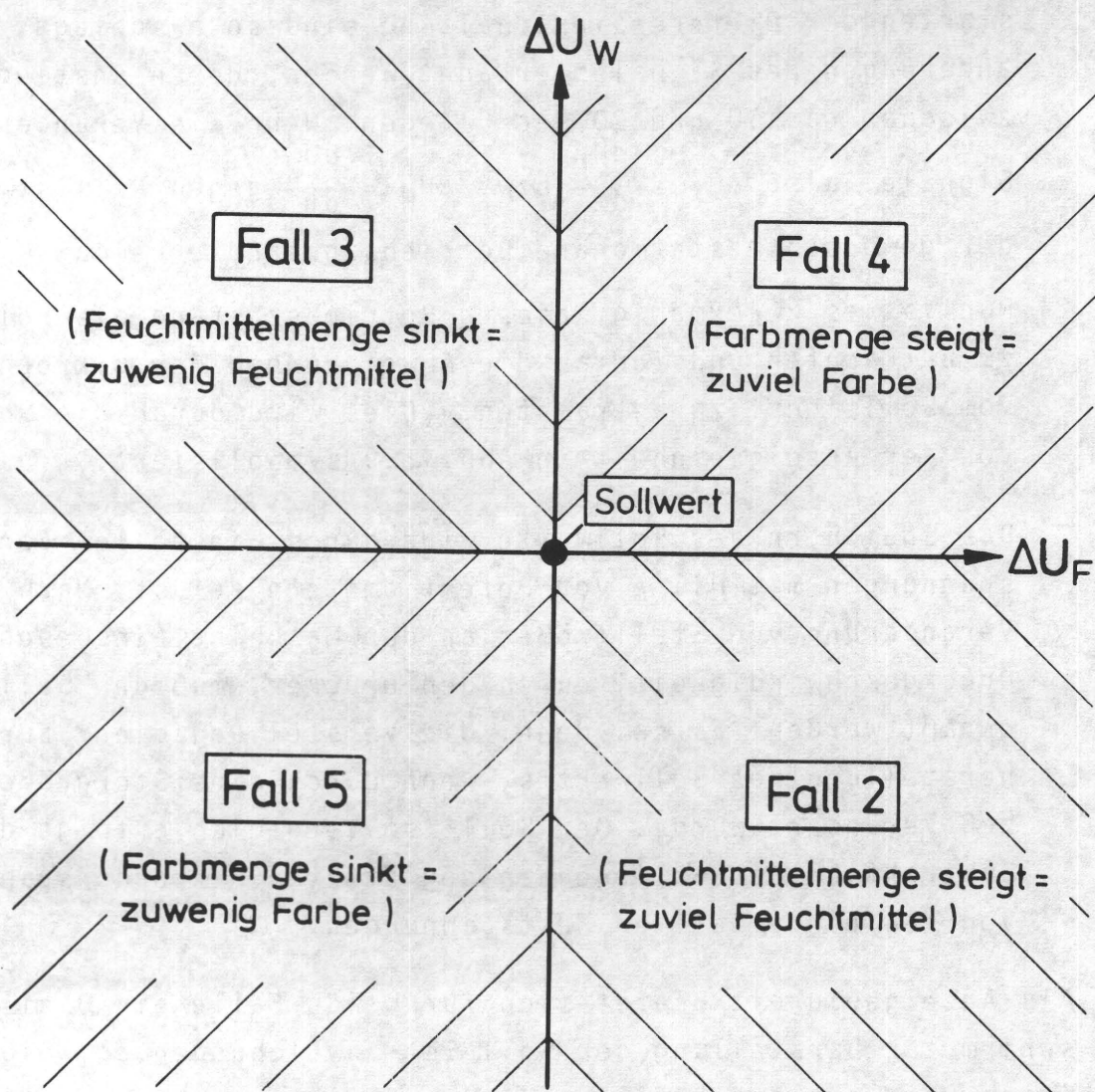


Abb. 5.10 Einteilung des Anzegebildschirmes

Die Fallunterscheidung bezieht sich auf Tab. 5.2.

#### 5.4 Druckversuch zur Erprobung der Auswerteschaltung

Mit dieser neuen Auswerteschaltung wurde ein weiterer Druckversuch gefahren. Die Versuchsmaschine war eine Vierfarben-Bogenoffsetmaschine ROLAND 800 mit CCI-Steuerung. Abb. 5.11 zeigt im ausgewählten Farbwerk die Anordnung der Ultraschallaufnehmer  $M_F$  und  $M_W$ .

Die Maschine ist mit einem Alkoholflechtwerk ausgerüstet, bei dem die Feuchtmittelfördermenge von der Feuchtduktordrehzahl bestimmt wird. Es wurde mit einem handelsüblichen Europaskala-Magenta einfarbig gedruckt.

Der Versuch wurde mit zwei verschiedenen Geschwindigkeiten, zwei verschiedenen Soll-Volltondichten und zwei verschiedenen Druckformen (große, umrandete Rasterflächen mit 10% bzw. 100% Flächendeckung) durchgeführt. Dabei wurde die Feuchtduktordrehzahl jeweils in drei Stufen variiert: guter Druck, Tonen, maximale Feuchtung.

Abb. 5.12 und 5.13 zeigen die Ergebnisse der Messung. Besonders auffällig ist, daß bei keinem der eingestellten Betriebszustände, ja selbst bei maximaler Feuchtung, die Beeinflussung des Farbmeßmikrophons  $M_F$  durch Feuchtmittel auftritt (vgl. Abschn. 4.3, 5.1 und 5.2). Damit ist im vorliegenden Fall die Betrachtung der "Zusatzinformation", nämlich der Schwankungsbreite  $U_{SS}$  nach Abschnitt 5.1 überflüssig.

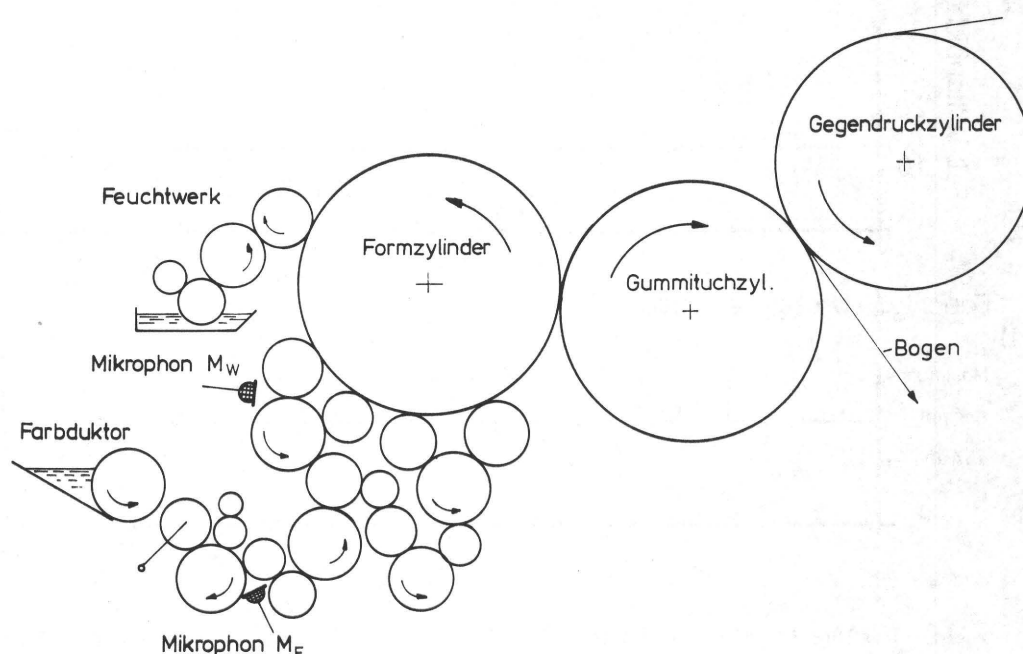


Abb. 5.11 Anordnung der Mikrophone im Farbwerk zur Erprobung der Auswerteschaltung

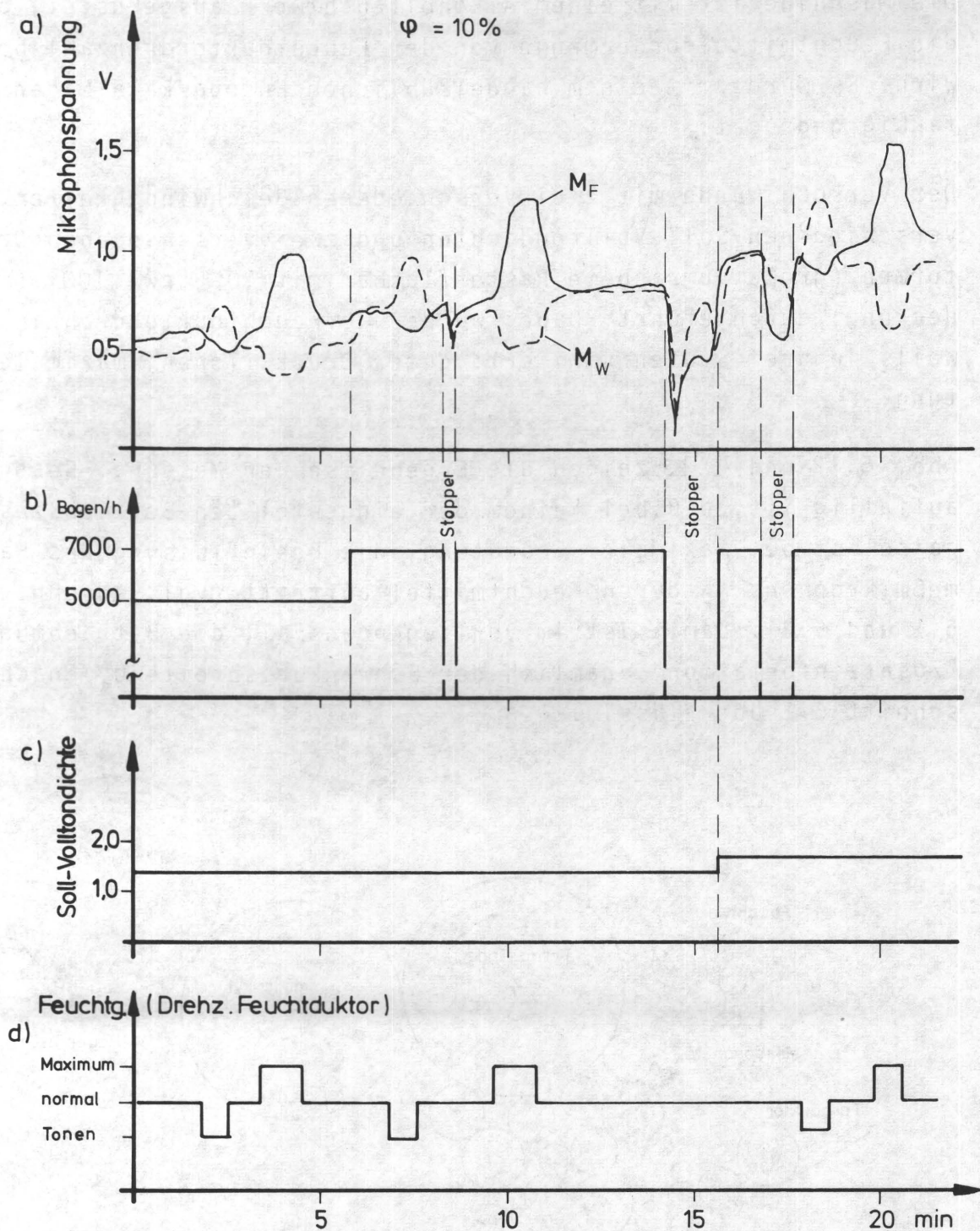


Abb. 5.12 Gemessene Mikrophonsignale bei 10% Flächendeckung unter Variation der Stellgrößen  
 b) Maschinengeschwindigkeit  
 c) Solldichte  
 d) Feuchtung



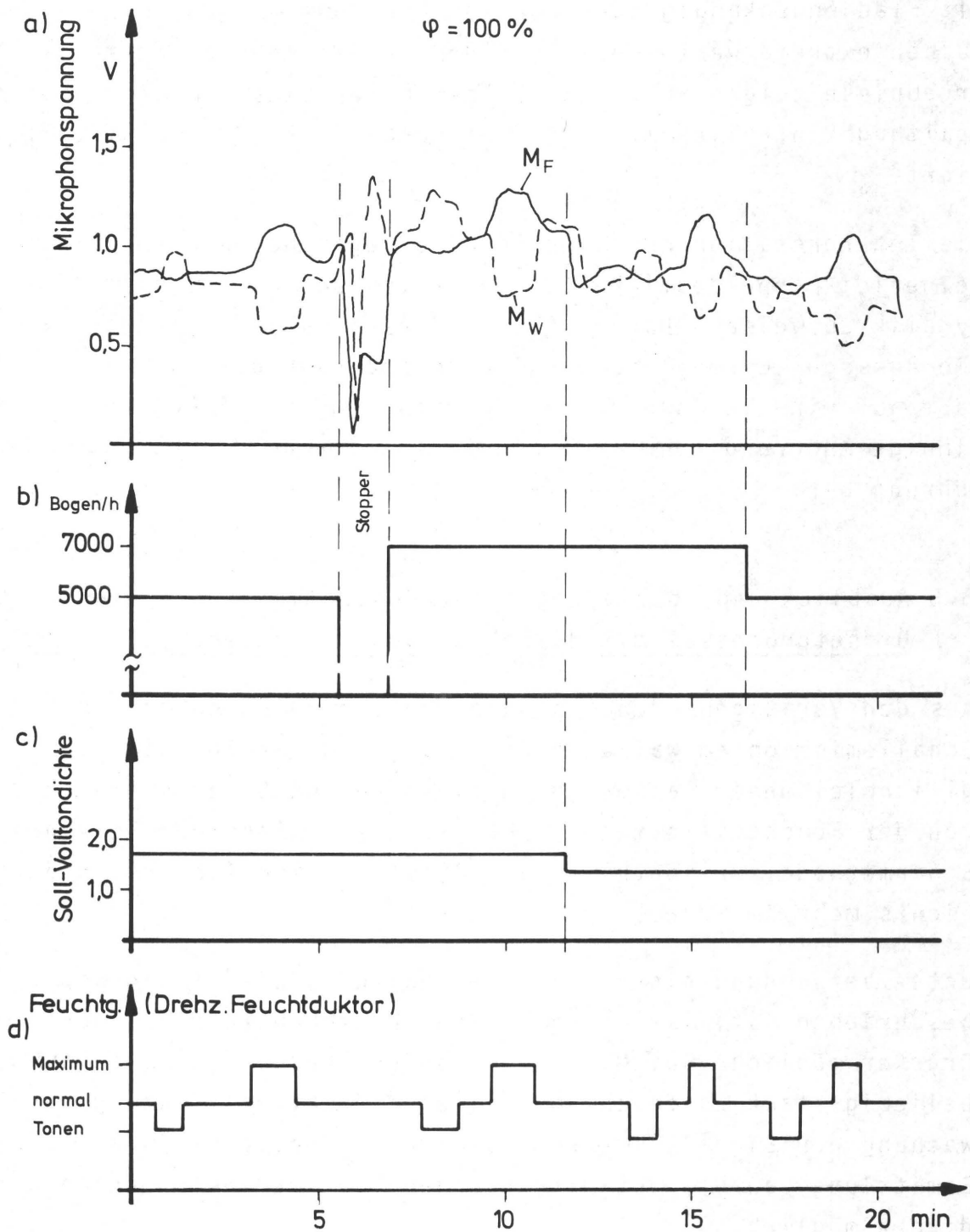


Abb. 5.13 Gemessene Mikrophonsignale bei 100% Flächendeckung (freier Rand) unter Variation der Stellgrößen  
 b) Maschinengeschwindigkeit  
 c) Solldichte  
 d) Feuchtung

Mit Flächendeckungsgraden von 10% und 100% wurden bei diesen Versuchen extreme Werte bezüglich des Farbflusses eingestellt. Die Ergebnisse zeigen aber, daß selbst unter diesen Bedingungen die Spaltungskontrolle mit Hilfe der Sonarsignale einwandfrei funktioniert.

Die Interpretation der Signale wird sogar besonders einfach, da keinerlei Doppeldeutigkeiten auftreten und die Signale eine große Dynamik aufweisen. Daher gilt in diesem Falle uneingeschränkt die Aussage: Eine gleichsinnige Veränderung der Signale  $M_F$  und  $M_W$  läßt auf eine Veränderung der Farbführung schließen, eine gegensinnige Änderung rührt von einer Veränderung der Feuchtmittelführung her.

#### 5.5 Ausblick und Überlegungen zur Kontrolle und Regelung des Offsetprozesses mit Hilfe von Sonarsignalen

Aus den vorausgehenden Ausführungen ist zu entnehmen, daß die Schallemission am Walzenspaltausgang eine Größe ist, die bei gleichbleibender Farbmenge in einem weiten Dynamikbereich monoton von der Feuchtmittelmenge abhängt. Damit steht der Verwendung der Sonarmethode zur Kontrolle des Offsetdruckverfahrens in der Praxis nichts mehr im Wege.

Unter Verwendung einer Auswerteschaltung, wie sie in Kap. 5.3 beschrieben ist, ist eine ständige Prozeßüberwachung durch den Drucker möglich. Bei Maschinen, deren Feuchtwerk es erlaubt, beliebig stark zu feuchten, ist eine Zusatzeinrichtung zur Überwachung der Signalschwankungsbreite  $U_{SS}$  notwendig (Kap. 5.1). Die Ermittlung von  $U_{SS}$  ist mit modernen Multimeßinstrumenten oftmals direkt möglich.

Vom Beginn des Einrichtens der Maschine an ist mit Hilfe der Sonarsignale ein schnelleres Erreichen des stabilen Fortdruckzustandes zu erwarten, was gleichzeitig den Vorteil eines ge-

ringeren Makulaturanfalles mit sich bringt. Der Drucker kann nach kurzer Einübung die Veränderungen der Signale sofort richtig deuten und die Farb- bzw. Feuchtmittelgebung korrigieren bis das Druckprodukt seinen Wünschen entspricht. Dann kann der Fortdruck beginnen und die momentanen Schallsignale werden als neue Sollwerte gespeichert.

Sollten im Laufe des Fortdruckes die Signalhöhen um mehr als ein noch zu bestimmender Schwellenwert vom gewählten Sollwert abweichen, kann der Drucker z. B. mit Hilfe eines optischen oder akustischen Warnsignales frühzeitig in Kenntnis gesetzt werden. Aufgrund der Anzeigewerte der Signale kann er sofort die Fehlerquelle identifizieren und geeignete Maßnahmen ergreifen.

In einer modernen Druckmaschine, sei es eine Bogen- oder Rollenmaschine, ist man bestrebt, die gesamte Steuerung unter die Kontrolle eines zentralen, digitalen Prozessorsystems zu legen.

Mit Hilfe eines solchen Mikroprozessorsystemes kann auch die Auswertung der Mikroponsignale nach  $TP_1$  (vgl. Abb. 3.14 und 5.9) erfolgen. Führt man die zweite Filterung nämlich maschinen-taktabhängig (z.B. mit Hilfe der Triggerpulse eines Drehwinkelgebers) durch, erübrigt sich die Frage nach der Größe der Zeitkonstanten und die ebenfalls drehzahlabhängigen Störsignale können sehr einfach eliminiert werden. Die Einschwingzeiten lassen sich somit erheblich verkürzen. Sind über die Maschinenbreite zonenweise akustische Sensoren angebracht, kann ein Mikroprozessor leicht Mittelwerte errechnen, ist aber auch in der Lage, einzelne, vielleicht besonders kritische, Zonen getrennt anzuzeigen.

Die Speicherung von Sollwerten (als Zahlenwerte) bereitet in einem digitalen System überhaupt keine Schwierigkeiten und kann evtl. einfach per Knopfdruck geschehen.

Aufbauend auf den Erfahrungen bei der Kontrolle des Offsetprozesses mit Hilfe der Sonarmethode kann die Realisation eines geschlossenen Regelkreises in Angriff genommen werden. Dabei sind



allerdings noch einige Punkte zu betrachten, die im Rahmen dieser Arbeit noch nicht untersucht wurden:

- Das Temperaturverhalten des Farbwerkes

Bei einem temperierten Farbwerk dürften damit keine Schwierigkeiten auftreten. Bei nichttemperierten Farbwerken ist die auftretende Temperaturerhöhung im Fortdruck, insbesondere bei den heutigen hohen Maschinengeschwindigkeiten, nicht zu vernachlässigen. Dadurch wird aber die Gültigkeit der im kalten Zustand gewählten Sollwerte in Frage gestellt.

- Das Raumklima

Zu diesem Problem liegen keine Erfahrungen vor. Es ist jedoch anzunehmen, daß Raumtemperatur und Raumfeuchte einen Einfluß auf die Signale haben. Zumindest ist es denkbar, daß an zwei verschiedenen Produktionstagen mit verschiedenen Absoluthöhen der Signale gerechnet werden muß.

Den Ausführungen in dieser Arbeit ist zu entnehmen, daß man hinsichtlich des Zieles der Kontrolle und Regelung des Offsetprozesses ein gutes Stück weitergekommen ist. Insbesondere ist es endlich gelungen, eine Meßgröße für das Farb-Wasser-Gleichgewicht und einen passenden kostengünstigen Sensor zu finden.

## 6. Zusammenfassung

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist die automatische Kontrolle und Regelung der Farb- und Feuchtmittelführung in Offsetdruckmaschinen.

Aufbauend auf einer Analyse des auf Spalt- und Umbenetzungsprozessen basierenden Offsetdruckverfahrens, bei der die Ermittlung von sog. Spaltprozeß-Kontrollgrößen im Vordergrund steht, wird der bei der Farbspaltung im auslaufenden Spalt zweier aufeinander abrollenden Farbwerkswalzen emittierte Schall als solche Kontrollgröße herausgestellt.

Dieses Schallsignal wird einer frequenzanalytischen Untersuchung unterzogen, wobei insbesondere die Frage nach dem Einfluß veränderter Feuchtmittelzugabe auf das Signal betrachtet wird, da bisher geeignete Meßwertaufnehmer für die Bestimmung der flächenbezogenen Feuchtmittelmengen in Farbwerken fehlen.

Anhand von Druckversuchen zeigt sich, daß durch die Feuchtmittelzugabe nur der gesamtenergetische Inhalt der Schallemission, aber nicht die spektrale Ausbildung, verändert wird. Der Hauptteil des Spektrums liegt dabei weit über dem Hörbereich im Ultraschall.

Es gilt allgemein, daß bei Erhöhung des flächenbezogenen Verhältnisses Farbmenge/Feuchtmittelmenge der Schallpegel steigt und bei Erniedrigung sinkt.

Einfache und preiswerte piezokeramische Ultraschallmikrophone, die um einen engen Frequenzband 40 kHz empfangen, nehmen die Maschinengeräusche nicht wahr und eignen sich demnach sehr gut als Meßwertaufnehmer.

Umfangreiche Versuche an Druckmaschinen zeigen, daß bei Verwendung eines Referenzmikrophons an einer Stelle im Farbwerk, die nicht oder nur wenig vom Feuchtmittel beeinflusst wird, aus den Signaländerungen eindeutige Rückschlüsse auf Störungen des Offsetprozesses infolge Farb- oder Feuchtmittelführungsschwankungen gezogen werden können. Darauf aufbauend lassen sich Regelalgorithmen formulieren, die, sobald ein Sollwert durch den Drucker definiert ist, dafür sorgen, daß Störungen wie "Tonen" und "Wassermarken" nicht auftreten.

## 7. LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ WIESNER, R., SCHEUTER, K.R.: "Ermittlung von Farbspaltungsfaktoren in Walzenfarbwerken", Institutsbericht 1/1983, IDD, TH Darmstadt
- /2/ Patentanmeldung Nr. P 32 05 941.8-52 bzw. Nr. EP 83 100 515 bzw. US Ser. No. 465.209 Case No. 15311: "Vorrichtung zur berührungslosen meßtechnischen Echtzeiterfassung der den Trenn- bzw. Spaltprozeß von Flüssigkeitsvolumen bzw. Flüssigkeitsschichten von Walzenspalten in Druckmaschinen charakterisierenden Eigenschaften bzw. Größen
- /3/ SCHEUTER, K.R., WIESNER, R.: "Mit Ultraschall das Wasser im Griff", Der Polygraph, 17-1983, S. 1060-1062
- /4/ WAKESHIMA, H.: "Hydrodynamical Studies of the Printing Process, 1978/79, Chiba Univers., S. 67-73
- /5/ DECKER, P.: "Beitrag zur Analyse des Offsetprozesses", Dissertation 1974, TU München
- /6/ GUDEHUS, T.: "Walzen und Rollen mit elastomerem Bezug", Fachinformation der Fa. Felix Böttcher, Köln, 1984
- /7/ TAYLOR, J.H., ZETTEMAYER, A.C.: "Hypothesis on the mechanism of Ink Splitting During printing", TAPPI Vol. 41, 1958, Heft 12, S. 749-757
- /8/ WAGENBAUER, K.: "Studien zum Farbübertragungsprozeß in Druckwerken", Habilitationsschrift IDD, TH Darmstadt, 1964
- /9/ SMITH, D., ENGLE, L.S., HOWARD, J., JONES, W.: "Film Splitting on Rotating Rollers", TAGA Proceedings 1956, S. 147-151
- /10/ SJODAHL, L.H.: "Ink Flow on Rotating Rollers", TALI Proceedings of the First Annual Meeting (= Techn. Assoc. Lith. Industry), 14. April 1949
- /11/ GLÜCK, M.: "Untersuchungen über das Verhalten von Druckfarbe im Spalt zweier Farbwerkswalzen", Institutsbericht 2/1979, IDD, TH Darmstadt
- /12/ BÖHM, M.: "Farbverteilung als Funktion diff. Drucks", Papier und Druck 32, 1983, Heft 4, D+V, S. 49
- /13/ FRICK, R.: "Beitrag zur Theorie der Spaltung dünner Flüssigkeitsfilme", Papier und Druck 15, 1966, Heft 10, S. 148-150
- /14/ HELBIG, TH.: "Probleme der Farbschichtspaltung", Druck und Reproduktion, 1970, Heft 10, S. 155-158



- /15/ LINDQUIST, U., KARTTUNEN, S., VIRTANEN, J.: "New Models for Offset Lithography" in: Advances in Printing Science and Technology, IARIGAI 1981, S. 67-96
- /16/ WIRZ, B.: "Die wissenschaftlichen Grundlagen des Flachdruckverfahrens", Druckprint 10, 1972, S. 643-648, 11, 1972, S. 719-726
- /17/ Mc PHEE, J.: "An Engineer's Analysis of the Lithographic Printing Process", TAGA Proceedings 1979, S. 237-277
- /18/ VOET, A.: "Ink and Paper in the Printing Process", Interscience Publishers New York, London, 1952
- /19/ WATANABE, K.: "Dynamic Viskoelasticity of Printing Ink", Graphic arts of Japan, Vol. 13, 1971/72, S. 30-32
- /20/ DOUGLAS, A.F., LEWIS G.A., SPAULL, A.J.B.: "The Investigation of the Dynamic Visco-Elastic Functions of Printing Inks", Rheol. acta 10, 1971, S. 382-386
- /21/ MYERS, R.R., MILLER, J.C., ZETTLEMOYER, A.C.: "The Splitting of Thin Liquid Films", Kinematics Journal of colloid science 14, 1959, S. 287-299
- /22/ "Ultraschall-Desintegratoren", Firmenkatalog "BRANSON", Fa. G. Heinemann, Schwäbisch Gmünd
- /23/ SCHMIDT, P., WALZEL, P.: "Zerstäuben von Flüssigkeiten", Physik in unserer Zeit Nr. 15, 1984, Heft 4, S. 113-120
- /24/ "Ultraschallnebel", Bild der Wissenschaft, 1983, Heft 4, S.26
- /25/ "Feuchtung und Feuchtwerke - notwendige Übel oder Vorteile des Offsetdruckes?", Offsetpraxis 10 und 11, 1981
- /26/ KÜBLER, J.: "Elektronik im Rollenoffsetdruck", VII. Woche der Druckindustrie, 1981, Referatemappe II, Bundesverband Druck e.V.
- /27/ "Neukonzipierte Bogenoffset-Steuerung >Unimatic C 3< und ein >Qualitätskontrollzentrum<", Deutscher Drucker Nr. 37, 1980
- /28/ WIRZ, B.: "Technische Aspekte des >CCI<-Densitometers und >CCI<-Druck nach Vorgabewerten, Deutscher Drucker Nr. 15 und Nr. 17, 1980
- /29/ SIMOMAA, K., LEHTONEN, T.: "Control of Inking in a Web Offsetpress Using Multichannel Densitometer as Feedback Device", TAGA Proceedings, 1981, S. 56-73
- /30/ JUHOLA, H., LETHONEN, T., SIMOMAA, K.: "The Development of Inking and Damping Control-Systems for Heatset-Offset-Presses", TAGA Proceedings, 1982, S. 129-144

- /31/ "Der Entwicklungsspielraum im Bogenoffsetdruck ist offensichtlich ausgeschöpft", Deutscher Drucker Nr. 32, 1984, S. 4-10
- /32/ "Elektronik ist Trumpf - Wird der Druckprozeß dadurch frei von Problemen?", Deutscher Drucker Nr. 25, 1984, S.132-135
- /33/ FUCHS, B.: "Die Entwicklungsgeschichte der Maschinenvoreinstell-Systeme", Zeitungstechnik, 1983, Heft 11, S. 57-62
- /34/ "Die elektronische Druckkontrolle an den AM-Offset-Automaten", Der Polygraph, 1982, Heft 7, S. 428-431
- /35/ BATJUSCHKO, A.L., VARTANJAN, S.P., SCHACHMUNDES, L.A., KIRST, G., NIESGODA, T., SCHÜTZE, W.: "Gemeinsamer Beitrag polygrafischer Forschungsinstitute der UdSSR und der DDR zur Automatisierung des Offsetdrucks", Papier und Druck 31, 1982, Heft 1, S. 1-6
- /36/ FOLEY, R.: "Elektronische Steuerung von Druckvorgängen", Der Druckspiegel, 1981, Heft 9, S. 814-817
- /37/ ADAMS, D.N.: "An Experimental Study of Ink Film Thickness, TAGA Proceedings, 1954, S. 194-204
- /38/ RIEDL, R.: "Untersuchungen zur Feuchtmittelführung im Offsetdruck", Papier und Druck 31, 1982, Heft 3, D+V, S. 41-44
- /39/ SOBEK, W., BAUMBACH, H.: "Charakterisierung des Benetzungsverhaltens von Offsetdruckformen durch radioaktive Markierung", Papier und Druck 32, 1983, Heft 5, D+V, S. 65-68
- /40/ OTT, D.: "Entwicklung und Stand der Technik im Rollenoffsetdruck", Deutscher Drucker Nr. 38, 1981, S. 8-14
- /41/ HELBIG, T., SCHWARZE, S.: "Zu einigen Problemen der Feuchtung im Offsetprozeß", Papier und Druck 32, 1983, Heft 7, S. 97-101
- /42/ PYLIOTIS, D.: "Wechselwirkung zwischen Druckfarbe und Feuchtmittel beim Offsetverfahren", FOGRA-Forschungsbericht 5.205, 1978
- /43/ PYLIOTIS, D.: "Wechselwirkung zwischen Druckfarbe und Wasser beim Offsetverfahren", FOGRA-Forschungsbericht 5.205/2, 1981
- /44/ ALEXANDER, M.: "Untersuchungen über die Voraussetzungen des Offsetdrucks bei minimalen Wasserschichten", FOGRA-Institutsmitteilung 3.205, München 1973
- /45/ PYLIOTIS, D.: "Der Wasserhaushalt im Offsetdruck", FOGRA-Forschungsbericht 3.214, München 1974
- /46/ grapho metronic: "Erfassung und Regelung von Prozeßdaten an der Druckmaschine", Der Polygraph, 1982, Heft 17, S.1531-1533

- /47/ "Die Lehrmeinung über das Offsetprinzip ist nicht mehr haltbar", Offsetpraxis, 1938, Heft 2, S. 6-18
- /48/ BABE, K.: "Dynamische Messung des Feuchtfilms auf Offsetdruckplatten", IPM-Mitteilungen, 1966, Heft 6, S. 255-259
- /49/ STRUNK, U.: "Messungen der Feuchtfilmdicke auf Offsetplatten", IPM-Mitteilungen, 1968, Heft 2, S. 71-76
- /50/ "Bleibt die Feuchtmittelmessung in der Produktionsmaschine nicht länger >Zukunftsmusik< ?", Deutscher Drucker Nr. 23/1984
- /51/ "Offset-Druckprozeß: Im Detail meßbar", Der Druckspiegel, Nr. 4/1984, S. 456-459
- /52/ SCHMID, E.: "Die Bedeutung des Feuchtmittels im Zusammenspiel mit der Farbe für den Offsetdruck", Deutscher Drucker Nr. 18, 1984, S. 2-6
- /53/ KUNISHI, T.: "Study on Measurement and Control of Water Film Thickness on Offset Plate", Graphic Arts Japan, 1972/1973, S. 40-43
- /54/ MEYER, E., NEUMANN, E.G.: "Physikalische + Technische Akustik", Vieweg Verlag, 1979
- /55/ "Condensor Microphones and Microphone Preamplifier für Acoustic Measurements", Bruel + Kjaer, Data Handbook, September 1982
- /56/ BROCH, J.T.: "Messungen von mechanischen Schwingungen und Stößen", Firmenschrift Bruel + Kjaer, 1970
- /57/ ACHILLES, D.: "Die Fourier-Transformation in der Signalverarbeitung", Springer Verlag, 1978
- /58/ UNBEHAUN, R.: "Systemtheorie", Oldenbourg Verlag, 1983, ISBN 3-486-38454-6, München, Wien
- /59/ LEONHARD: "Statistische Analyse linearer Regelsysteme", Teubner Stuttgart, 1973, ISBN 3-519-02046-7
- /60/ WALKER, W.C., FETZKO, J.M.: "A Concept of Ink Transfer in Printing", American Ink Maker, 33, 1955, 12
- /61/ RECH, H.: "Beiträge zur experimentellen und rechnerischen Untersuchung des Farbtransports in Walzenfarbwerken von Druckmaschinen", Dissertation 1971, TH Darmstadt
- /62/ GLOCK, M.: "Untersuchung des Rollenverhaltens von Mehrwalzen-Systemen unter Einbeziehung einer viskoelastischen Walze", Dissertation 1976, TH Darmstadt



- /63/ ROSENBERG, A.: "Auswirkungen der Feuchtmittelaufnahme von Offset-Druckfarben auf das Druckergebnis", FOGRA-Mitteilungen Nr. 116, 1984, S. 6-11
- /64/ PYLIOTIS, D.: "Feuchtwerkuntersuchung", Bundesverband Druck, FOGRA-Forschungsbericht 3.216, Wiesbaden/München, 1976
- /65/ NN: "Montage und Bedienungsanweisungen Rotorenfeuchtung", Firmenschrift Fa. Weko (Weitmann u. Konrad)
- /66/ FRANK, E.: "Feuchtmittel und Druckbedingungen", druckprint Nr. 10, 1983, S. 600-605
- /67/ REETZ, H.: "Feuchtwasserprobleme und ihre Lösungsmöglichkeiten durch Wasserentsalzung", Offsetpraxis Nr. 2, 1982, S. 10-14
- /68/ PANGALOS, G.C., DEALY, J.M., LYNE, M.B., ASPLER, J.S.: "Time Dependent Shear Properties and Extensional Flow of News Inks as a Function of their Composition", Advances in Printing Science and Technology, IARIGAI 1983, S. 399-411
- /69/ RUPP, E., RIECHE, K.: "Beiträge zur Bedruckbarkeit von Papier und Folie", 1959
- /70/ TOLLENAAR, D.: "Plukeigenschappen van homogeen gestookte en koud gemeng de Lijnolie vernissen", IGT-Nieuws Nr. 7, 1954, S. 98
- /71/ RECH, H.: "Möglichkeiten und Grenzen der rechnergestützten Analyse von Offsetfarben I bis III", druck print Nr. 8 bis 10, 1984, S. 520-522, S. 574-578, S. 657-658